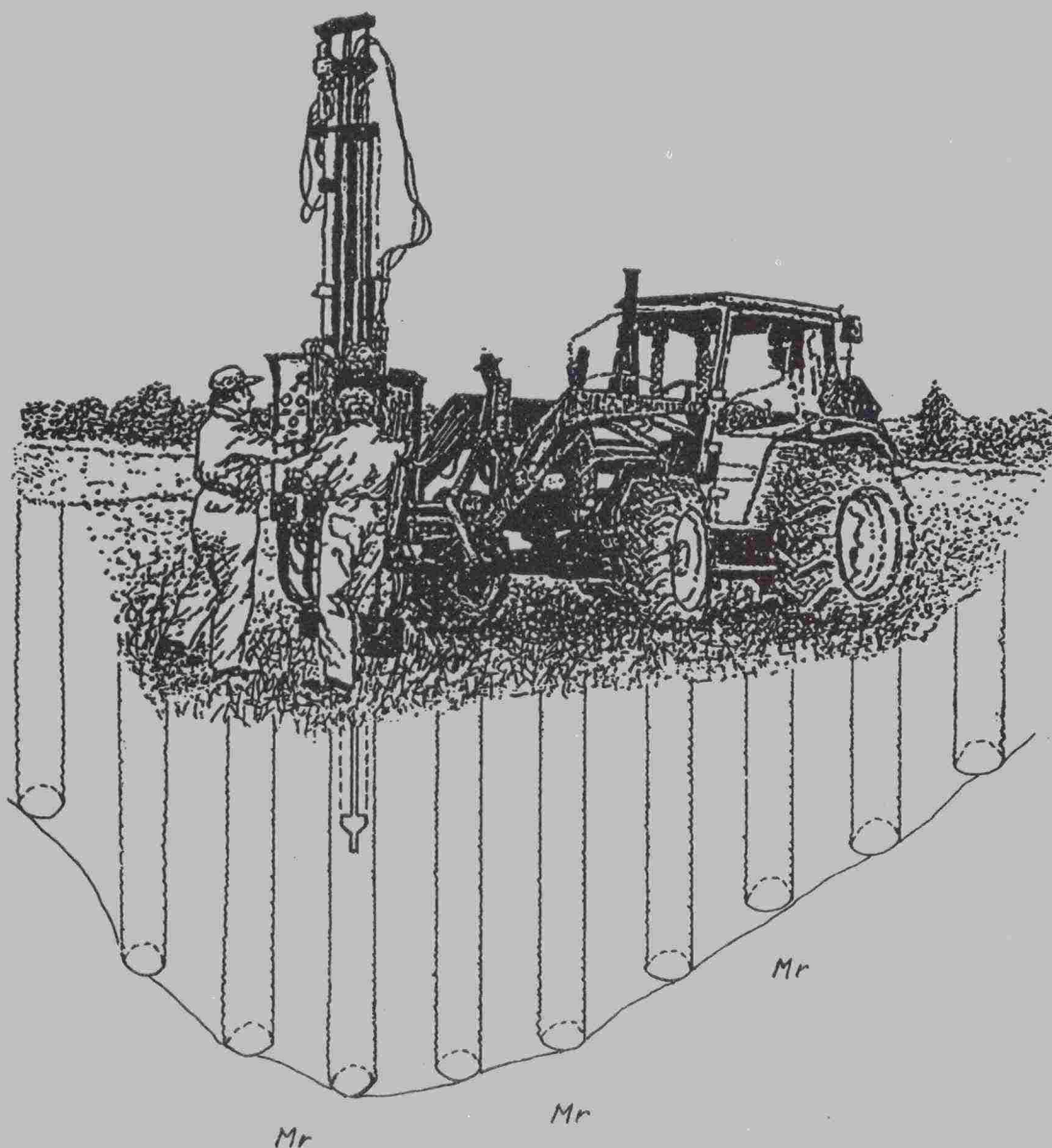




Tielaitos

Pentti Lahtinen ja Elina Parkkinen

Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje



**Tielaitoksen
selvityksiä**

46/1992

Helsinki 1992

Tiehallitus

Tielaitoksen selvityksiä
46/1992

Pentti Lahtinen ja Elina Parkkinen

Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje

Tielaitos
Tiehallitus

Helsinki 1992

ISBN 951-47-6510-9

ISSN 0788-3722

TIEL 3200099

Valtion painatuskeskus

Pasilan VALTIMO

Helsinki 1992

Julkaisua myy:

Tiehallitus, painotuotevarasto

Tielaitos

Tiehallitus

Opastinsilta 12 A

PL 33

00521 HELSINKI

Puh. vaihde (90) 148 721

TIIVISTELMÄ

Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje on tehty Tielaitoksen, Helsingin, Espoon, Vantaan ja Turun kaupungin sekä Sillanpää Oy:n, Stabilointi Piippo&Pakarinen Oy:n ja YIT-Yhtymä Oy:n toimesta.

Ohjeessa annetaan perustiedot Suomessa tällä hetkellä käytössä olevasta syvästabilointikalustosta sekä syvästabiloinnin laadunvalvontaa varten soveliaimmista laadunvalvontatoimenpiteistä ja käytetyistä laitteista. Ohje sisältää eri vaativuusluokan rakenteille ohjeelliset laatuvaatimukset, joita tulisi soveltaa kohdekohtaisesti harkinnan mukaan.

Ohjeessa esitetään suositus laadunvalvonnan toteutuksesta käsittäen laatuvaatimukset ja laadunvarmistustoimenpiteiden esittämisen suunnitelmissa sekä laadunvarmistustoimenpiteet työn aikana että työn jälkeen eli lopputuloksen laadunvalvonnan.

Ohje sisältää tärkeimmät työnaikaiset laadunvarmistustoimenpiteet so. sideaineen laatu ja määrä, pilarin sijainti sekä sekoitustyö. Lopputuloksen laadunvalvontaa koskien ohjeessa käsitellään yleisimmin käytettyjä laaduntutkimuslaitteita valmiin pilarin tutkimuksissa. Laaduntutkimuksiin in situ käytetään pääsääntöisesti pilarikairaa, puristinkairaa, pilarisiipikairaa sekä ruuvilevykuormituslaitetta. Maastomittauksen lisäksi on laboratoriotutkimuksia varten otettu näytteitä pieniläpimittaisilla näytteenottimilla tai nostettu kokonaisia pilareita ylös tarkempia tutkimuksia varten. Ohjeessa esitetään myös analyysit, jotka pilarinäytteistä voidaan laboratoriossa suorittaa. Näistä tavanomaisimpia ovat lujuuskokeet, sideaine- ja pH-määritykset.

Key words deep stabilization, quality control, test methods

ABSTRACT

Instructions for Deep Stabilization Quality Control have been produced by Finnish National Road Administration, cities of Helsinki, Espoo, Vantaa, Turku and deep stabilization contractors Sillanpää Ltd., Stabilointi Piippo&Pakarinen Ltd. and YIT-Corporation.

Deep stabilization equipment used in Finland and applicable quality control methods and devices are introduced in these instructions. Instructions include recommended quality demands for different constructions. They show a recommendation for quality control including quality demands and assurance procedures.

Instructions include the most important quality factors that occur during the stabilization work like the quality and amount of stabilizing agent, mixing method and column position. Generally used devices for end product quality control are briefly mentioned. Column sounding, cone penetration, column vane shear test and screw plate bearing test are mostly used tests on site. In addition to tests on site samples are usually taken for laboratory tests by samplers like core barrels. Also whole columns have been drawn up for more specified laboratory analysis. Most common laboratory tests are compression test, stabilizing agent quantity test and pH test.

ALKUSANAT

Tämä ohje on tarkoitettu syvästabiloinnin rakentamista ja laadunvalvontaa varten. Ohje koskee läpimitaltaan 500 mm pilareita, mutta sitä voidaan soveltaa myös läpimitoiltaan suuremmille pilareille.

Ohjeen on laatinut Viatek-Tapiola ja kirjoittajina ovat toimineet DI Pentti Lahtinen ja DI Elina Parkkinen.

Ohjeen ovat rahoittaneet Helsingin, Espoon, Vantaan ja Turun kaupungit, Tielaitos, Stabilointi Piippo&Parkarinen Oy, Sillanpää Oy ja YIT-Yhtymä Oy. Lisäksi Suomen Geotutkimus SGT Oy, Lohja Oy ja Partek Oy ovat auttaneet erilaisten laboratoriotutkimusten toteuttamisessa.

Työn ohjausryhmään ovat kuuluneet DI Pentti Lahtinen, DI Hannu Halkola, DI Hans Rathmayer ja DI Pentti Salo.

Tämä on ensimmäinen syvästabiloinnin laadunvalvonta-ohje, minkä takia ohje on koekäytössä. Tekijät toivovat palautetta ohjeesta etenkin sen 6. luvusta, joka käsittelee laatuvaatimuksia.

Helsingissä syyskuussa 1992.

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Sisältö | |
| Tiivistelmä | |
| Abstract | |
| Alkusanat | |
| Sisällysluettelo | 7 |
| <u>1 YLEISTÄ</u> | <u>9</u> |
| <u>2 SUOMESSA KÄYTÖSSÄ OLEVA SYVÄSTABILOINTIKALUSTO</u> | <u>10</u> |
| <u>3 LAATUMÄÄRITYKSET SUUNNITELMISSA</u> | <u>14</u> |
| 3.1 Pilarien sijoitusta koskevat laatu- määritykset | 15 |
| 3.2 Sideainetta ja sideaineen syöttöä koskevat määritykset | 16 |
| 3.3 Pilarilaadun tutkimukset | 16 |
| 3.4 Pilarointityön työnaikaiset laadunval- vontatoimenpiteet | 16 |
| <u>4 LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT</u> | <u>18</u> |
| 4.1 Sideaineen laatu | 18 |
| 4.2 Sideaineen syöttö | 18 |
| 4.3 Esisekoitus | 18 |
| 4.4 Syöttöpaine | 19 |
| 4.5 Sekoituskärjen muoto | 19 |
| 4.6 Kierrosnousun suuruus | 19 |
| <u>5 LAADUNTUTKIMUSMENETELMÄT</u> | <u>20</u> |
| 5.1 Pilarista tehtävät lujuus- ja kokoon- puristuvuustutkimukset in situ | 20 |
| 5.1.1 Pilarikaira | 20 |
| 5.1.2 Puristinkaira | 21 |
| 5.1.3 Pilarisiipikaira | 22 |
| 5.1.4 Ruuvilevykuormituslaite | 23 |
| 5.1.5 Yhteenveto laiteominaisuuksista | 25 |
| 5.2 Näytteenotto | 26 |
| 5.2.1 Kokopilarinäytteet | 26 |
| 5.2.2 Pieniläpimittaiset näytteet | 28 |

| | | |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6 | LAATUVAATIMUKSET | 30 |
| 6.1 | Laatuvaatimusten määrittely | 30 |
| 6.2 | Sideaine ja sideaineseosten laatu | 31 |
| 6.2.1 | Poltettu kalkki | 31 |
| 6.2.2 | Kalkki-sementti -seokset | 31 |
| 6.2.3 | Sementti | 32 |
| 6.3 | Sideainemäärävaihtelut | 32 |
| 6.4 | Lujuus- ja kokoopuristuvuusominaisuudet | 33 |
| 6.5 | Sijoitustarkkuusvaatimukset | 35 |
| 7 | LAADUNVALVONNAN TOTEUTUS | 37 |
| 7.1 | Yleistä | 37 |
| 7.2 | Ennen työn aloitusta tehtävät toimenpiteet | 37 |
| 7.2.1 | Suunnitelma-asiakirjojen tarkistus | 37 |
| 7.2.2 | Työsuunnitelman teko | 38 |
| 7.2.3 | Aloituskokous | 38 |
| 7.3 | Työn aikana suoritettava laadunvalvonta | 39 |
| 7.3.1 | Sideaine | 39 |
| 7.3.2 | Sideaineen määrä | 40 |
| 7.3.3 | Pilareiden sijoituskaavio ja asennustoleranssit | 41 |
| 7.3.4 | Pyöritystyö | 42 |
| 7.3.5 | Syöttöhäiriöt | 42 |
| 7.3.6 | Työsuojelun kannalta täytettävät työturvallisuusominaisuudet työn aikana | 42 |
| 7.4 | Lopputuloksen valvonta | 43 |
| 8 | ESIMERKKEJÄ PILARITUTKIMUSTEN TULKINNASTA | 45 |
| 8.1 | Pilari- ja puristinkairaukset | 45 |
| 8.2 | Ruuvilevykuormituskoe | 46 |
| 8.3 | Pilarista otetuista näytteistä tehtävät tutkimukset | 47 |
| 9 | LÄHDELUETTELO | 48 |
| 10 | LIITTEET | 50 |

1 YLEISTÄ

Syvästabiloinnin laadunvalvonta perustuu useimmiten sekä työnaikaiseen että lopputuloksen valvontaan. Laadunvalvonnalla pyritään varmistamaan, että stabilointityö sujuu suunnitelmien mukaisesti ja että pilareiden lujuuskehitys vastaa suunnitelmalujuuden arvoja. Tässä ohjeessa esitetään laadunvalvontavoitteet ja suositukset niiden soveltamisesta työnaikaisen ja lopputuloksen valvontaa varten siten, että eri hankkeissa ohjetta olisi helppo soveltaa.

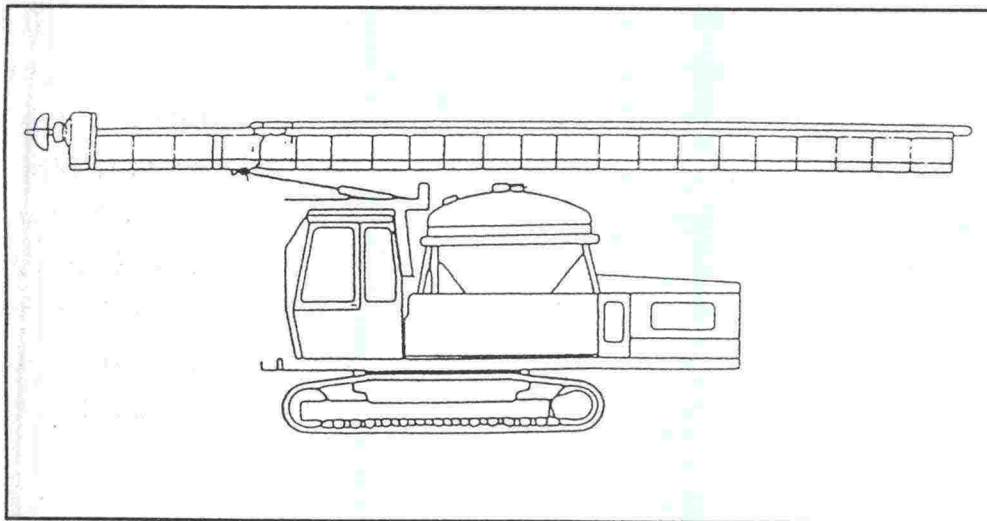
Suomessa syvästabilointi perustuu Ruotsissa 1970-luvulla kehitettyyn kalkkipilarimenetelmään, jossa sideaine puhalletaan paineilman avulla stabiloitavaan maahan. Stabilointityössä sekoituskärki viedään alas painamalla tai kiertämällä haluttuun syvyyteen. Ylösnostovaiheessa maahan puhalletaan sideainetta (yleensä kalkkia, sementtiä tai näiden seoksia) kärjen syöttöaukon kautta kärkeä samanaikaisesti pyörittäen, jolloin maahan muodostuu spiraalimainen pilari. Käytettävät sideainemäärät ovat tässä menetelmässä yleensä vaihdelleet halkaisijaltaan 500 mm pilareissa 10-30 kg/m.

2 SUOMESSA KÄYTÖSSÄ OLEVA SYVÄSTABILOINTIKALUSTO

Tässä luvussa on esitelty Suomessa käytössä oleva syvästabilointikalusto. Tiedot perustuvat diplomi-työssä, Syvästabiloinnin laadunvalvonta, esitettyyn aineistoon /14/.

Periaatteiltaan koneet ovat samanlaisia paineilma-syöttöön perustuvia stabilointikoneita, joissa on urakoitsijasta riippuen 1...3 sideainesäiliötä. Koneet liikkuvat telaketjuilla, jotka takaavat paremman liikkuvuuden työmaalla. Yksityiskohtaisia eroja löytyy sideaineen sekoituksessa ja annostelussa, pyöritysputken muodossa ja pituudessa sekä kärjen rakenteessa.

Kuvassa 1 on esitetty periaatekuva Suomessa käytössä olevasta syvästabilointikoneesta.

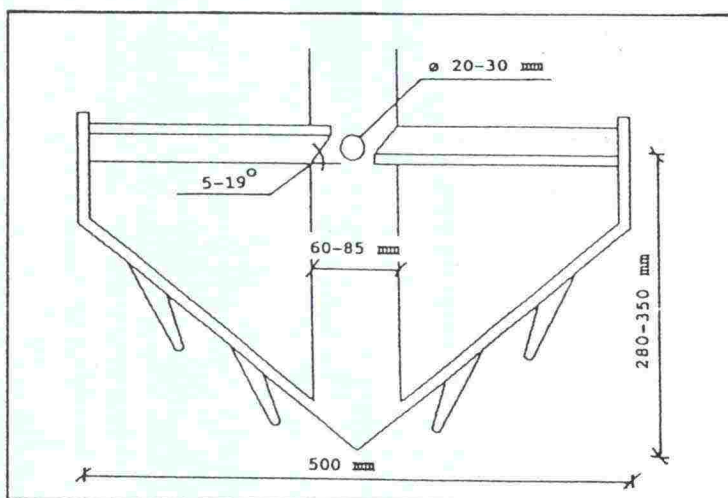


Kuva 1. Suomessa käytössä oleva syvästabilointikone, jossa on yksi sideainesäiliö. Kaksi- ja kolmisäiliöisten koneiden alustat ovat kuvan konetta vastaavat.

Jokaisen urakoitsijan käyttämä sekoituskärki on periaatteiltaan kuvan 2 mukainen. Kärjen leveys on keski-

määrin 500 mm ja korkeus yläsiivistä/syöttöaukosta kärjen alaosaan vaihtelee 280...350 mm. Yläsiivet on kaikissa kärjissä kallistettu pyörityssuuntaa vastaan paremman sekoittuvuuden takaamiseksi. Kallistukset vaihtelevat 5...19° välillä.

Joidenkin urakoitsijoiden kärjissä on alasiipiin hitsattu kuvan 2 mukaiset hampaat, jotka helpottavat työskentelyä mm. kuivakuorikerroksessa.



Kuva 2. Periaatekuva Suomessa käytössä olevista sekoituskärjistä (\varnothing 500 mm pilaria tehtäessä).

Kuvassa 2 esitetyn kärjen yläsiivet on kallistettu paremman sekoituksen saavuttamiseksi. Syöttöaukko on pyöreä ja se sijaitsee kuvan mukaisesti kallistettujen yläsiipien välissä. Aukon halkaisija vaihtelee laitteesta riippuen.

Syöttöaukko sijaitsee kaikissa kärjissä kallistettujen yläsiipien välissä niin, että toisen puolen siipi asettuu aukon yläpuolelle ja toinen aukon alapuolelle.

Taulukkoon 1 on tiivistetty Suomessa käytettävien syvästabilointikoneiden ja laitteiden eri ominaisuuksia. Taulukossa 1 on mainittu eri urakoitsijoiden käyttämien syöttöpaineiden, kierrosnousun ja kierros-

nopeuden arvoja. Syöttöpainetta voidaan kontrolloida koneen ohjaamossa olevasta näytöstä. Kierrosnopeus perustuu konetietoihin ja kierrosnousu työnaikaiseen asetukseen, joka voidaan tarkistaa pyörityspuomin varresta mittaamalla. Kierrosnopeuden ja kierrosnousun avulla saadaan selville nousunopeus.

Taulukko 1. Suomessa käytössä oleva stabilointikalusto. (Taulukon tiedot perustuvat urakoitsijoiden v.91 antamiin tietoihin).

| Urakoitsija/ Valmistaja | SILLANPÄÄ OY | YIT-YHTYMÄ OY | FUNDATOR OY | STABILOINTI PIIPPO&PAKA- RINEN OY | JUNTAN OY |
|--------------------------------------------------------|--------------|------------------|-------------|-----------------------------------------|-----------|
| Säiliöiden lkm | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| Stab.koneiden lkm | 4 | 3 | 3 | 4 | 1 |
| Kierrosnousu [mm/r] | 10-50 | 10-40 | 12-25 | 10-25 | 20 |
| Kierrosnopeus [r/min] | 60-150 | 150 | 80-210 | 160-200 | 200 |
| max pilaripituus [m] | 15 | 19,6 | 30 (*) | 19 | 15 |
| Puomin kallistusmahdollisuus sivusuunnassa | 15°-18° | 12° | 15° | 15° | 18° |
| max sideaineen syöttö ø500 mm pilareiden teossa [kg/m] | 100 | 75 (**) | | 100 | 40 |
| Sekoitusjärjen leveys [mm] | 500-800 | 500-800 | 500-1000 | 500-800 | 500 |
| Järjen syöttöaukon ø [mm] | 20 | 20 | 20 | 22 | 30 |
| Talvikärjen hampaat | on | ei | on | on | ei |
| Syöttöpaine [kPa] | 250-450 | 260-450 | 0-500 | 0-500 | ≈200 |

*) Jatko-osia käytettäessä

**) Sideaineen syöttö ø 800 mm pilareiden teossa

Taulukossa 2 on esitetty Suomessa yleisimmin käytettävät sideaineet ja niiden käytön osuus kokonaismäärästä laskettuna. Syvästabiloinnin kokonaisvolyymi Suomessa vuonna 1990 oli 1 360 000 pilarimetriä.

Taulukko 2. Suomen stabilointimäärät vuonna 1990.

| Sideaine | ko. sideaineen käytön osuus kokonaismäärästä Suomessa v.1990 |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Kalkki | 26% |
| Sementti | 7% |
| Kalkki-sementti -seos | 67% |

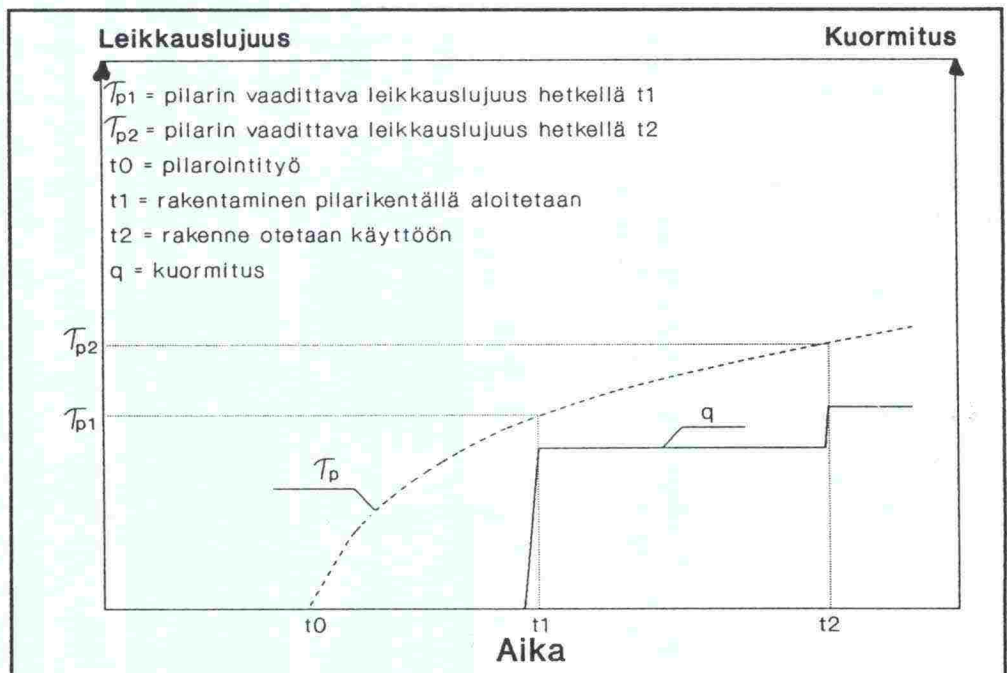
3 LAATUMÄÄRITYKSET SUUNNITELMISSA

Suunnitelmissa esitetään pilarointityölle asetettavat vaatimukset. Näistä tärkeimpiä ovat määritykset sideaineen laadusta ja määrästä sekä valmiin pilarin lujuudesta eri ajankohtina.

Suunnitelmissa tulee lisäksi esittää pilareiden sijaintiin ja laadunvaihteluun liittyvät toleranssit. Sideaineen laatu, määrä ja lujittuminen tutkitaan uudessa kohteessa tapauskohtaisesti suunnitteluvaiheessa jollakin seuraavista tavoista:

- a) stabiloituvuustutkimukset laboratoriossa
- b) koepilarointi
- c) stabiloituvuustutkimukset laboratoriossa ja koepilarointi

Suunnitelma perustuu usein joko yhteen tai kahteen mitoitusajankohtaan. Ensimmäisenä mitoitusajankohtana pidetään usein rakennusvaiheen aikaista mitoitushetkeä ja toisena käyttöönottovaiheen mitoitushetkeä. Kaikille eri mitoitusajankohdille esitetään suunnitelmassa lujuusvaatimukset pilareille (joskus myös vaadittu kokoonpuristuvuusmoduuli). Lujuusvaatimukset voivat vaihdella syvyys suunnassa eri tavalla lujittuvissa kerroksissa. Kuvan 3 esimerkki havainnollistaa erilaisia mitoitus- ja laaduntarkistusajankohtia.



Kuva 3. Eri mitoitusajankohtia (pilarin lujuus/aika).

Syvästabilointisuunnitelmassa esitetään vaatimukset pilarien sijoituksesta ja koosta, sideaineesta ja sideaineen syötöstä, pilaritutkimuksista ja pilarointityön työnaikaisista toimenpiteistä.

3.1 Pilarien sijoitusta koskevat laatumääritykset

Syvästabilointisuunnitelmassa esitetään seuraavat pilareita koskevat tiedot:

- pilarien koko
- sijoittelu esitetään usein rastereilla ja sijoituskaavioilla piirustuksissa
- pilarien ala- ja yläpäiden tasot
- pilarien sijaintitoleranssit
- pilarien kallistuskulma ja -suunta
- pilarien kallistus- ja kaltevuustoleranssit
- työnsuunnitteluvaatimukset

3.2 Sideainetta ja sideaineen syöttöä koskevat määrittelyt

Sideainetta ja sideaineen syöttöä varten esitetään suunnitelmassa seuraavat tiedot:

- sideaineen tyyppi
- sideaineen tai sideaineseoksen laatuvaatimukset
- sideaineen määrä, määrävaihtelut ja seosvaihtelut
- syöttökärjen nousunopeus ja kierrosnopeus
- syöttöpaine
- syötettävä ilmamäärä alaspäin mentäessä
- sideaineen työnaikaiset laatuvaatimukset

3.3 Pilarilaadun tutkimukset

Suunnitelmassa tulisi esittää:

- pilarien lujuudelle asetetut vaatimukset eri aikoina (Kts. kuva 3. $t_1:\tau_{p1}$, $t_2:\tau_{p2}$) ja tarvittaessa eri maakerroksille
- suunnitelman edellyttämät erillisvaatimukset
- pilarin laadun tutkimusmenetelmät (pilarikaira, puristinkaira, pilarisiipikaira, syvyyslevykuorituslaite, näytteenotto)
- laaduntutkimusajankohdat ja tutkimusten lukumäärä
- menettelytapa pilarien valinnassa
- pilarikoestuksen edellyttämät toimenpiteet (pilari tehdään ylös asti, pilarien merkitseminen jne.)
- laadunvalvonnan tulosten arviointimenettely

3.4 Pilarointityön työnaikaiset laadunvalvontatoimenpiteet

Suunnitelmassa esitettävien toimenpiteiden on noudatettava laadunvalvontaohjetta ja suunnitelma sisältää toimenpiteet työn suoritukselle siinä laajuudessa kuin ne halutaan esittää.

Esim. valvojan jatkuva osallistuminen työn seurantaan ja puutteiden korjaamiseen (puomin kaltevuus, sideaineen syötön tarkkailu yms.), sideainelaadun tarkistukset kärjen syöttöaukon kautta otetuista näytteistä, syöttökärkien kunnon tarkkailu työn aikana.

4 LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

4.1 Sideaineen laatu

Syvästabiloinnissa käytettävät ja tähän käyttöön hyväksyttävät kalkkilaadut saattavat poiketa stabiloituvuusominaisuuksiltaan merkittävästi erilaisissa savissa. Tämän takia lujuusmääritysten perusteena olevat stabiloituvuuskokeet tulisi olla samalla kalkkilaadulla tehtyjä.

Jauhemaisen sideaineen laatu (reaktiivisuus) heikenee, mikäli varasto- tai työsäiliöihin pääsee kosteutta. Tämä voi heikentää sekä sekoitettavuutta että lujuutta.

4.2 Sideaineen syöttö

Sideaine syötetään maahan paineilman avulla. Mitä suurempi määrä ylimääräistä ilmaa puhalletaan maahan sitä heikommaksi pilarin lujuus todennäköisesti tulee jäämään. Tämän takia pitäisi pyrkiä mahdollisimman pienen ilmamäärän käyttöön.

4.3 Esisekoitus

Sekoituskärki viedään alas pyörittämällä tai painamalla. Pyöritys tekee savessa esihäirinnän samalla parantaen sekoitettavuutta ennen sideaineen sekoitusta. Mikäli sekoitus on riittävä, ei esipyöritystä tarvita.

Eri sideaineet vaativat erilaisen sekoitustehon joutuessa sideaineen rakeisuudesta ja tilavuuspainosta.

Kärjen alasviennin yhteydessä joudutaan usein käyttämään ilmapuhallusta, jotta kärjen syöttöaukko ei tukkiutuisi. Ilman puhaltaminen saattaa heikentää loppu-

tulosta, joten on edullista viedä kärki maahan mahdollisimman pienellä ilmamäärällä. Syöttöaukon tukkeutuminen voidaan myös estää sulkemismekanismin avulla niin, että aukko on suljettuna alasmentäessä ja avoinna ylösnostettaessa. Tällöin välttytään turhan ilman puhaltamiselta.

4.4 Syöttöpaine

Syöttöpaineen tulisi olla sellainen, että se takaa tasaisen sideainelevityksen eri syvyyksissä. Vääränlainen syöttöpaine voi aiheuttaa sideaineen kasautumista pilaripoikkileikkauksen keskiosaan tai reunoille tai koko pilarin ulkopuolelle. Syöttöpaineen muutosta tulisi voida seurata ohjaamosta käsin.

4.5 Sekoituskärjen muoto

Sekoituskärjen tarkoituksena on saada aikaan mahdollisimman tehokas eli tasainen sideaineen sekoittuminen saveen samalla kun sillä pitäisi olla pilaria tiivistävä vaikutus. Tämän vuoksi kärjen siipien tulisi olla kallistettu siten, että sekoitus tehostuu samalla kun kärki tiivistää pilarin. Mikäli sekoitustasoja (siipiä) on useampia, tehostuu sekoitustulos entisestään. Sekoituskärjen muodolla on merkittävä vaikutus pilarin lujuteen ja ennen kaikkea tasalaa-tuisuuteen.

4.6 Kierrosnousun suuruus

Mitä pienempi kierrosnousun suuruus on sitä tasalaa-tuisempi sekoitus saadaan aikaan. Liian suuri nousu tekee pilarista epähomogeenisen ja kerroksellisen. Myös kärjen tiivistävä vaikutus jää vähäisemmäksi.

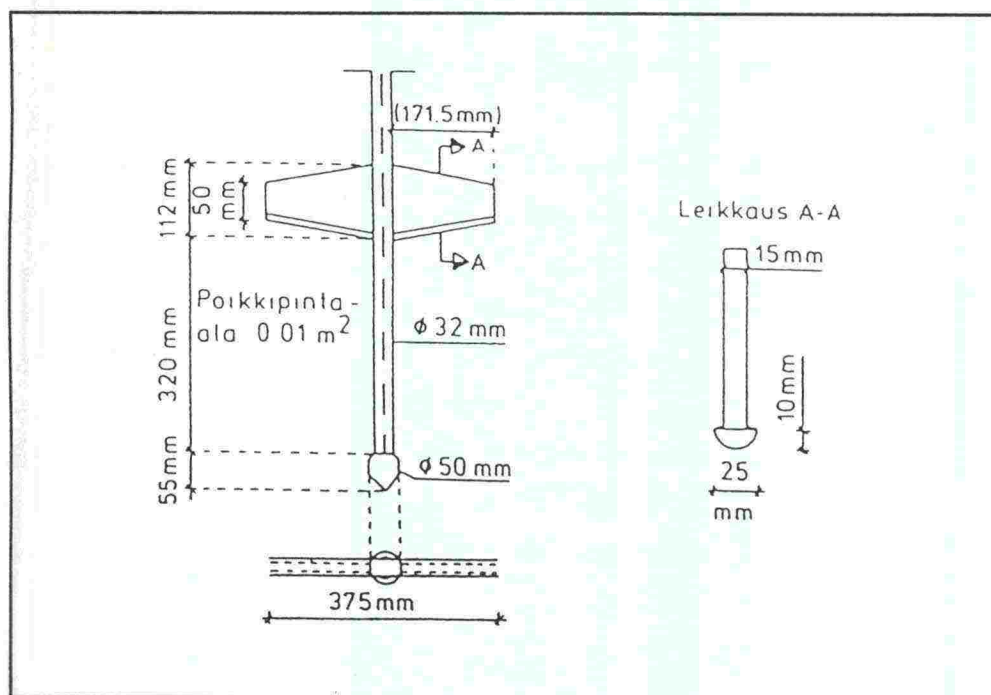
5 LAADUNTUTKIMUSMENETELMÄT

5.1 Pilarista tehtävät lujuus- ja kokoonpuristuvuustutkimukset in situ

5.1.1 Pilarikaira

Suomessa on pilarikairauksissa käytetty tavallisesti kuvan 4 mukaista pilarikairaa /8/.

Pilarikairassa on erityinen ohjainkärki, joka pitää kairan pilarin keskiosassa. Kairaa puristetaan alas ja tuloksena saadaan pilarikairan alas painamiseen tarvittava puristusvoima syvyyden funktiona.



Kuva 4. Pilarikaira.

Pilarikairan hyvinä puolina voidaan pitää mittausten suoritusnopeutta ja sitä, että kairalla saadaan tulos koko pilarin matkalta. Samalla paljastuvat pilarin epäjatkuvuuskohdat. Tämän vuoksi pilarikaira soveltuu

hyvin pilarien laadunvalvontaan monissa tapauksissa ja on yleisimmin käytetty pilarien tutkimusmenetelmä. Pilarikairan käyttöä rajoittavat suuri pilarilujuus ($\tau_p > 200$ kPa) sekä pitkät pilarit, missä riski kairan tunkeutumiseen ulos pilarista kasvaa huomattavasti.

Koska mittauksilla halutaan selvittää pilarin leikkauslujuus, joudutaan pilarikairan tulos muuttamaan kaavan 5.1 mukaisesti.

$$\tau_p = \frac{p - \sigma_0'}{N_c}, \text{ missä} \quad (5.1)$$

τ_p = pilarin likimääräinen leikkauslujuus

p = kairausvastus

σ_0' = maan tehokas pystysuora jännitys

N_c = kantavuuskerroin, joka saadaan kokeellisesti määritettyä vertaamalla pilari-kairatuloksia (kairausvastus) siipikairauksilla saatuihin todellisiin leikkauslujuuden arvoihin.

5.1.2 Puristinkaira

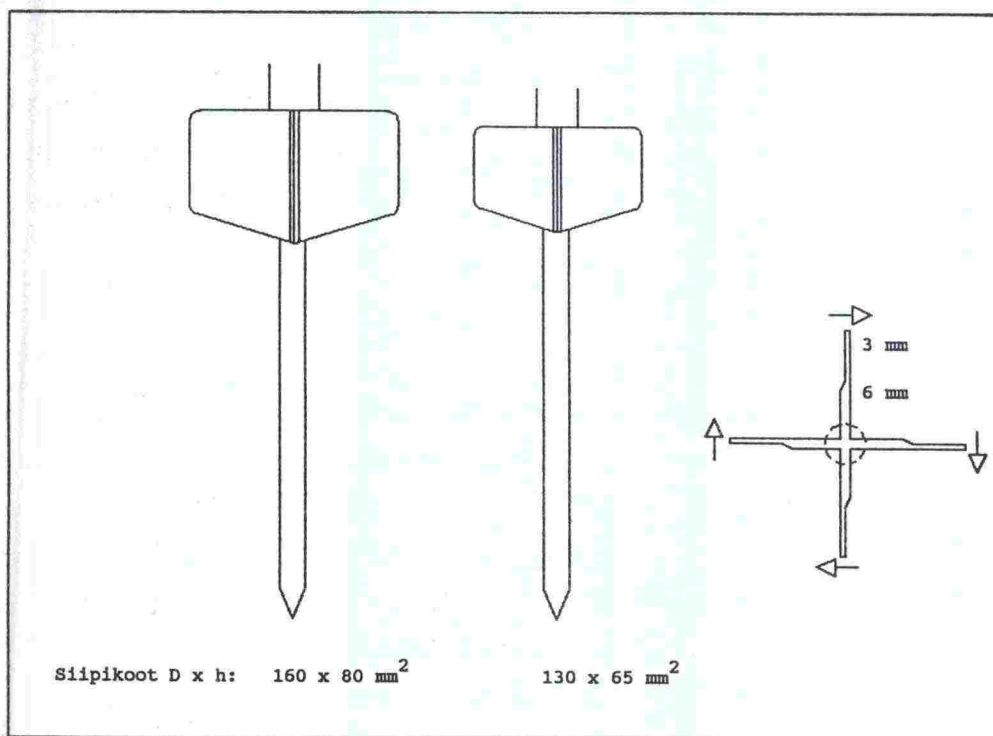
Pilarikairan lisäksi pilareiden koestamiseen käytetty CPT-U - eli puristinkaira mittaa pilarin puristuslujuuden suoraan kairan kärjestä sähköisesti. Puristuslujuuden lisäksi kairalla voidaan mitata huokosvedenpainetta ja vaippahankausta. Huokosvedenpaineen ja puristusvoiman mittaus tapahtuu kairan kärkiosan sisäpuolella olevien antureiden avulla ja vaippahankausten mittaus noin 15 cm kärjen yläpuolella olevan hankauspinnan avulla. Pilarin leikkauslujuus saadaan kairaustuloksista määritettyä kaavan 5.1 mukaisesti.

Puristinkaira soveltuu hyvin lujittuneille pilareille ($\tau_p = 200 \dots 1500$ kPa). Pehmeämpien pilareiden ($\tau_p \leq 200$ kPa) koestamisessa laitteella saadaan liian huono kuva pilarista, koska kairan poikkileikkaus (10 cm^2) on pieni. Puristinkairalla on myös ongelmana kärjen tuleminen ulos pilarista pitkissä pilareissa.

5.1.3 Pilarisiipikaira

Pilarisiipikairaa käytetään pilarin leikkauslujuuden mittaamiseen tietyillä syvyyksillä. Tuloksena saadaan suoraan pilarin leikkauslujuus.

Leikkauslujuusmittausten lisäksi pilarisiipikairalla mitataan usein myös kairan alas painamiseen tarvittavaa puristusvoimaa edellä mainittujen mittapisteen välillä.



Kuva 5. Pilarisiipikairoja.

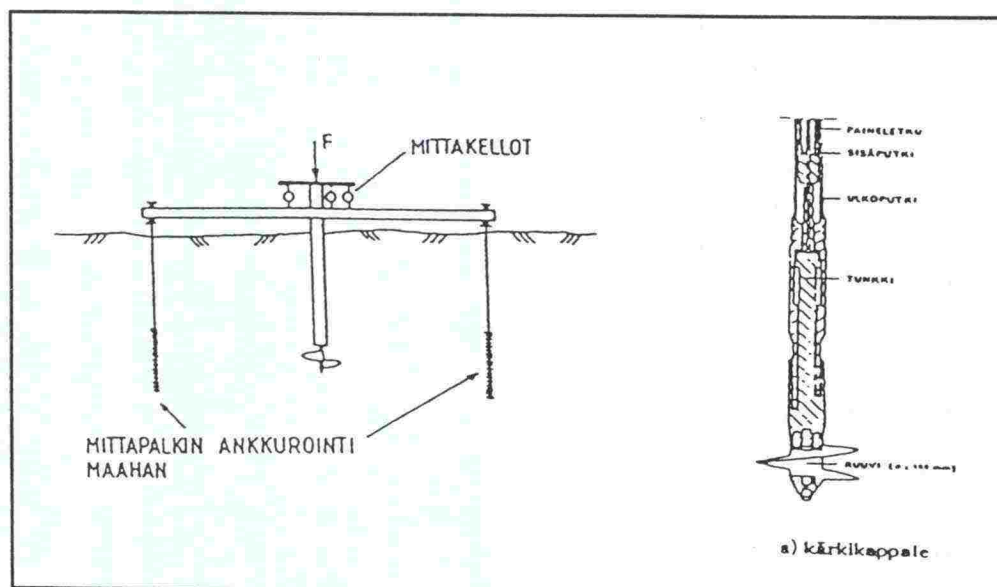
Pilarisiipikairakoko määräytyy pilarin kovuuden mukaan: pilarin lujuuden ollessa $\tau_p = 100 \dots 250$ kPa käytetään siipikokoa $65 \times 130 \text{ mm}^2$ ($D \times h$); kun lujuus on < 100 kPa käytetään siipikokoa $80 \times 160 \text{ mm}^2$.

Pilarisiipikairan ulosohjautumisen estämiseksi on joihinkin siipikairoihin asennettu samantyyppinen ohjain kuin pilarikairassa, kuten kuvasta 5 nähdään.

Pilarisiipikairan etu mittauksissa on leikkauslujuuden suora mittaaminen. Epähomogeenisessa pilarissa siipikairaustulokset ovat hyvin vaihtelevia ja poikkeavat usein merkittävästi pilarikairan antamista tuloksista. Pilarisiipikairan ongelmana on myös sen ulostyöntymisriski jo syvyydestä -7 m alaspäin.

5.1.4 Ruuvilevykuormituslaite

Ruuvilevykuormituslaite on periaatteeltaan levykuormituslaite, jossa kuormituslevy on muotoiltu ruuvilevyksi (esim. $\phi = 160$ mm). Näin saatu ruuvi voidaan kiertää haluttuun syvyyteen ja koestaa pilarit eri syvyyksillä /6/. Kuvassa 6 on esitetty periaatekuva levykuormituslaitteistosta.



Kuva 6. Ruuvilevykuormitusperiaate ja kärkikappale.

Ruuvilevykuormituslaitteen mittapalkki ankkuroidaan liikkumattomaksi maahan vastapainoksi ruuvilevyn kuormitukselle. Mittakelloista, jotka on kiinnitetty kairanvarteen, luetaan painumalukemat jokaisella kuormitusportaalla tietyin väliajoin.

Ruuvilevykuormitustuloksista saadaan määritettyä painumaparametrit, kuten murtojännitys σ_u , myötöjännitys σ_r , kokoonpuristuma s ja kimmomoduuli E_p .

Murtojännitys on jännitys, jolla materiaali levyn alla murtuu. Jos murtumista tapahdu (laitteiston kapasiteetti ylittyy), pidetään murtolujuutena arvoa, jolla ruuvien kokonaispainuma on 10 % levyn halkaisijasta (=16 mm, kun käytetään halkaisijaltaan 160 mm ruuvia). Myötöjännitys määritetään kuormitus-painuma -tulosten perusteella piirretystä jännitys-painuma -kuvaajasta niin, että myötöjännitys on se jännitys, jolla muodonmuutos kasvaa äkillisesti. Jos selvää myötörajaa ei havaita, pidetään myötöjännityksenä jännitystä, jonka kohdalla painuma ylittää 1 % levyn halkaisijasta (=1,6 mm, kun käytetään halkaisijaltaan 160 mm ruuvia)/2, 6/.

Painumalaskelmia varten tarvittava pilarin kimmomoduuli E_p voidaan määrittää kaavan 5.2 mukaan /5/.

$$E_p = w(1 - \nu^2) \frac{\Delta\sigma \times \varnothing}{s} \times I, \text{ missä} \quad (5.2)$$

w = muotokerroin = $\pi/4$ (pyöreä levy)

ν = pilarin Poissonin luvuksi valittu arvo = 0,5

$\Delta\sigma$ = mitattu jännitysväli kimmoalueella

\varnothing = levyn halkaisija (160 mm)

I = syvyyskorjauskerroin = 0,87, kun käytetään jäykkää levyä ja kuormitussyvyys > 1,0 m

s = mitattu painuma

Kun käytetään halkaisijaltaan 160 mm ruuvia ja syvyyden ollessa yli 1,0 m, voidaan kaava yksinkertaistaa em. arvot kaavaan sijoittamalla lausekkeeksi:

$$E_p = 82 \times \frac{\Delta \sigma}{s} .$$

Ruuvilevykuormitus vaatii paljon aikaa ja yhdessä työvuorossa saadaan koestettua vain 1...2 pilaria. Koe on kuitenkin ainoa menetelmä, jolla pilarin kimmomoduuli voidaan luotettavasti määrittää in situ tilanteessa.

5.1.5 Yhteenveto laiteominaisuuksista

Taulukkoon 3 on koottu eri tutkimusmenetelmät in situ ja niillä saatavat tulokset.

Taulukko 3. in situ -menetelmät.

| | MITATTAVAT OMINAISUUDET | MENETELMÄN EDUT | MENETELMÄN HAITAT |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pilarikaira | -puristuslujuus -leikkauslujuus (välillisesti siipikairausten perusteella) | nopea, jatkuva | ohjautuminen ulos pilarista, vaippa- vastus mukana lukemissa |
| Puristinkaira CPT-U -kaira | -puristuslujuus -vaippakitka -huokosvedenpaine -leikkauslujuus | mitataan kärkivas- tus, nopea, jatkuva, sopii lujittuneille sementti- ja kalk- kimenttipilareille | ohjautuminen ulos pilarista, mittaa puristuslujuuden pieneltä pilari- alalta, ei voida lyödä alas |
| Pilarisii- pikaira | -leikkauslujuus | leikkauslujuus saa- daan suoraan mitat- tua | epäjatkuvuus tulos, hidas, kairan ulos- tunkeutuminen |
| Ruuvilevy | -painuma -myötölujuus -murtolujuus -kimmomoduuli | ainoa menetelmä in situ kimmomoduulin määrittämiseksi, suora myötölujuuden määrittäminen | erittäin hidas ja kallis, tulosten analysoinnissa usein vaikeuksia |

5.2 Näytteenotto

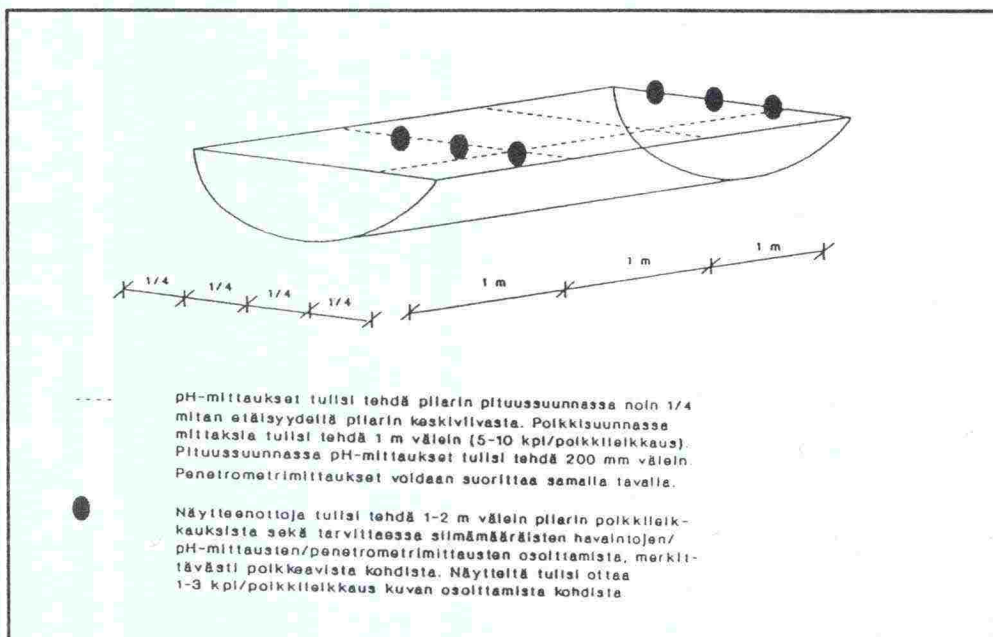
5.2.1 Kokopilarinäytteet

Kokopilarinäytteet saadaan ylös halkaisijaltaan noin 600 mm sylinterimäisen putken avulla, joka painetaan alas esim. paalujuntalla ja nostetaan ylös esim. autonosturia hyväksi käyttäen. Näytteenotin voi olla yhtenäinen tai jatkettava. Putkiottimen tarvittava pituus riippuu tutkittavien pilarien pituudesta. Putkiottimen minimipituus tulisi olla 10 m ja mieluiten jatkettavissa 15 m asti. Putkiottimessa tulee olla suljin, joka estää pilarin valumisen ottimesta (esim. kahmarikauha-tyyppinen tai vastaava).

Jotta ylösnosto ja pilarista tehtävät tutkimukset olisivat mahdollisimman helposti suoritettavissa, pitää varmistaa (esim. stabiloituvuuskokeiden perusteella selvitetyn lujuuskehityksen mukaan), että pilarin lujittumisaika on ollut riittävä.

Pilarista selvitetään heti ylösnoston ja pituussuuntaisen halkaisun (voidaan suorittaa esim. lapiolla) jälkeen silmämääräisesti, onko sideainetta sekoittunut pilarin eri osiin (väriin ja materiaalin ulkonäköön perustuvat havainnot). Samalla mahdolliset epäjatkuvuuskohdat on kirjattava.

Tarkemmat tutkimukset pilarista tehdään pH-mittausten ja pilarista otetuista näytteistä tehtyjen laboratoriotutkimusten (lujuuskokeet ja sideainemääritykset) avulla. Lisäksi voidaan käyttää penetrometrimittauksia pilarin leikkauslujuuden nopeaan arviointiin. Suositus näiden tutkimusten suorittamiseksi on kuvan 7 mukainen.



Kuva 7. Pilarista tehtävät tutkimukset.

Kuvan 7 mukaiset näytteenottopisteet on sijoitettu pilariin olettaen, että pilarissa ei ole epäjatkuvuuskohtia. Tällaisissa tapauksissa tutkimuspisteitä tiennetään tapauskohtaisesti. Suositeltava näytteenottotapa on palanäytteenotto, missä näytteen koon tulisi olla vähintään 100 mm x 100 mm (pohja) x 140 mm (korkeus).

pH-mittauksilla määritetään pilarin happamuus, joka vaihtelee pilarin eri osissa johtuen esim. saven kerroksellisuudesta ja sideaineen erilaisesta jakautumisesta pilarin eri osissa. pH-mittaukset paljastavat selkeästi liian alhaiset sideainekohdat. pH-määritykset voidaan suorittaa joko suoraan pilarista lattaapä-elektrodilla tai laboratoriossa vesiliuoksen pH:na.

Pilarista otetuille näytteille tehdään lujuuskokeet ja kokonaissideainemääritykset, jotka paljastavat pilarin kokonaissideainevaihtelut (menetelmä: BS 1924 Part 2).

Sideainepitoisuusmäärittäystä varten tarvitaan noin 100 g painoinen näyte ($0,1 \text{ dm}^3$) sekä vertailunäyte stabiloimattomasta savesta.

Suoraan pilarista voidaan tehdä myös lujuusmäärittäystä penetrometrillä, jolla saadaan nopeasti arvioitua pilarin leikkauslujuutta. Penetrometrin toiminta on esitetty liitteessä 2.

5.2.2 Pieniläpimittaiset näytteet

Pieniläpimittaisia näytteitä voidaan ottaa lujista pilareista, jolloin varmistetaan, että näyte jää näytteenottoon.

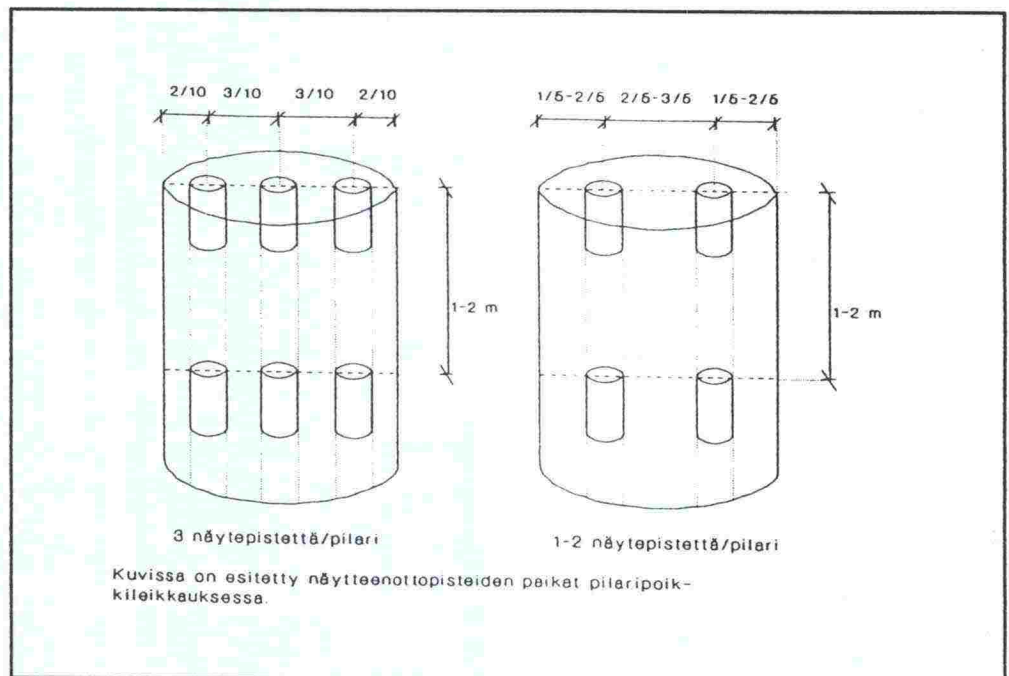
Pieniläpimittaisia näytteitä saadaan pilarista esim. kallioporaamiseen käytettävällä sydännäyteporauksella (kovat pilarit). Näyteputken tulisi olla halkaisijaltaan $\geq 62 \text{ mm}$, jotta lujuuskokeisiin varattavat näytteet saadaan hyvin muotoiltua koestusta varten.

Pieniläpimittaiset näytteet rikkoontuvat usein näytteenoton yhteydessä. Tämän vuoksi lujuustutkimuksia näistä näytteistä ei aina voida suorittaa. Sideainemäärittäykseen ja siten epäjatkuvuuskohtien selvittämiseen myös rikkoutuneita kohtia voidaan käyttää.

Sydännäytekairauksessa alusta on rakennettava niin, että kaira saa vastatukea kairatangon alaspainamiseen. Myös kairauksessa käytettävän vesihuuhtelun vaikutus pilarimateriaalin 'syöpymiseen' tulee selvittää ennen menetelmävalintoja.

Pieniläpimittaisia näytteitä otettaessa on varmistuttava siitä, että otettava näyte saadaan pysymään ottimessa. Tämä tulee osaltaan huomioon ottaa, jos pilareiden lujittumisaika on ollut riittävä. Pieniläpimittaisien näytteiden otosta voidaan suositella:

Näytteenottopisteet sijoitetaan pilarin poikkileikkauksessa kuvan 8 osoittamalla tavalla. Putkinäytteitä tulisi ottaa pilarin poikkileikkauksen 1...3 pisteestä.



Kuva 8. Pieniläpimittaisten näytteiden tutkimuspisteet.

Pilarinäytteet on suositeltavaa tutkia vastaavalla periaatteella kuin kokopilarinäytteet:

- näytteet valokuvataan ja tutkitaan silmämääräisesti
- yhtenäisistä näytteistä tehdään pH-mittaukset näytteenottosuunnassa 200 mm pistevälein
- kokonaissideainemäärät määritetään 2,0 m syvyysvälein
- lujuustutkimukset tehdään 1,0 - 2,0 m välein puristuskokein
- näytteistä tulisi saada lujuustulokset ja sideainemääritykset vähintään viidestä kohtaa/putkinäyte
- putkinäytteissä ilmenevät epäjatkuvuuskohdat tulee mitata ja mahdollisuuksien mukaan myös paikantaa näytteen syvyysuunnassa

6 LAATUVAATIMUKSET

Tässä luvussa esitettävät vaatimukset ovat ohjeellisia ja niitä on sovellettava harkinnan mukaan tapauskohtaisesti.

6.1 Laatuvaatimusten määrittely

Laatuvaatimukset määräytyvät suunnitelma-asiakirjojen pohjalta. Suunnitelmassa esitettävät asiat ilmenevät luvussa 3 käsittäen vaatimukset pilarien sijoitukselta, sideaineesta ja sideaineen syötöstä, pilaritutkimuksista sekä työnaikaisesta laadunvalvonnasta.

Tässä luvussa esitetään yleiset laatuvaatimukset, joihin voidaan suunnitelma-asiakirjoissa viitata, jos kohde ei edellytä muunlaista käytäntöä. Ohjeessa laatuvaatimukset on ryhmitelty:

1. Vaativiin kohteisiin
2. Keskin kertaisiin kohteisiin
3. Helppoihin kohteisiin

Tämän ohjeen tietoja voidaan soveltaa myös lopputuotevastuurakentamisessa esim. siten, että annetaan vaatimukset ainoastaan pilarin lujuudelle ja sen tasalaatuisuudelle tai pilarin lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksille.

6.2 Sideaine ja sideaineseosten laatu

6.2.1 Poltettu kalkki

Syvästabiloinnissa käytettävän kalkin tulee laadultaan täyttää sekä kemialliset että laitteistotekniset vaatimukset. Tärkeimpiä kalkin ominaisuuksia ovat:

- polttoaste
- vesiliukoisuus
- aktiivinen CaO-pitoisuus
(kalkin sisältämä CaO, joka osallistuu reaktioon)
- sammumisnopeus
- juoksevuus
- raekoko

Eri kalkkilaaduilla on niiden ominaisuuksissa selviä eroja, mutta syvästabiloinnissa käytettävän kalkin (CaO) tulisi olla ominaisuuksiltaan:

1. Aktiivisen CaO-pitoisuuden määrä $\geq 75\%$
2. Maksimiraekoko: 1,0 mm ja 80 % on alle 0,2 mm raekokoa. Käytettävä kalkkimäärä lasketaan siten, että aktiivista CaO:ta on suunnitelmien edellyttämä määrä

Erityisen tärkeää on, että kohteessa käytetään samaa kalkkia, jota on käytetty laboratorion stabiloituvuuskokeissa. Ellei näin ole niin laboratoriossa on tehtävä vertailevat stabiloituvuuskokeet. Sama koskee kalkki-sementti -seoksia.

6.2.2 Kalkki-sementti -seokset

Kalkki-sementti -seoksessa käytetään yleensä kalkkina kohdassa 6.21 esitettyä poltettua kalkkia (CaO) sekä sementtinä portlandsementtiä tai yleissementtiä, joiden koostumus on määritelty standardissa SFS 3165.

Sideaineseosten suhteet määritellään suunnitelmassa. Yleisimmin käytetty seossuhde on ollut 1:1. Seossuhteet voivat poiketa suunnitellusta $\pm 10 \%$ (painoprosenttiyksikköä). Tämä voidaan tarkistaa työn aikana syöttökokein.

6.2.3 Sementti

Sementtipilareiden tekoon käytetään yleensä portlandsementtiä tai yleissementtiä, joiden koostumus on määritelty standardissa SFS 3165.

6.3 Sideainemäärävaihtelut

Sideainesyötön kokonaismäärää mitataan jatkuvana. Jatkuva mittaus tulostaa keskimääräiset sideainemäärät (kg/m) metrin välein sekä koko pilarin keskimääräisen määrän (kg/m). Sideaineen syötön vaihtelulle asetetaan seuraavat vaatimukset:

- mittauksen tarkkuuden on oltava vähintään 1,0 kg/pilarimetri
- yksittäispoikkeama kg/m saa olla enintään $\pm 10 \%$
- pilarin keskimääräinen sideainemäärä saa poiketa suunnitelman arvoista enintään $\pm 5 \%$
- sideaineen syöttötiedot on tarpeen vaatiessa annettava 0,2 m välein

Pilarinäytteistä tehtävien laboratoriotutkimusten avulla voidaan määritellä kokonaissideainemäärät pilarissa. Kokonaissideainemäärävaihteluille asetetaan seuraavat vaatimukset:

- keskiarvo pilaripoikkileikkauksessa saa poiketa enintään $\pm 15\%$
- yksittäinen analyysituloks saa poiketa enintään $\pm 30\%$

Jos sideainetta on vähemmän (enemmän) kuin sallitun toleranssin -10% (keskiarvo) tai -20% (yksittäistulos) mukainen määrä, on kyseessä epäjatkuvuuskohta.

Pilarikairauksilla tai tarkemmin pilarinäytteistä tehdyillä sideainemäärityksillä paljastuvat sideaineen syötön epäjatkuvuuskohdat. Epäjatkuvuuskohtien sallitut pituudet ja määrät ovat tapauskohtaisia:

1. Vaativat kohteet ja pienet pilariryhmät

Vaativissa kohteissa (luiska- tai kaivantostabiliteetti) ja pieninä ryhminä toimivien pilarien kohdalla (putkilinjan kaivot) epäjatkuvuuksia ei saa esiintyä. Epäjatkuvuuskohdat on todettavissa kairauksilla ja näytteenotolla.

2. Keskin kertaiset ja helpot kohteet

Kohteissa, missä pilariryhmä on suunniteltu etupäässä painumien pienentämiseksi (putkijohtolinjat, tiepenkereet yms.), voidaan epäjatkuvuuskohtia sallia yhteensä enintään 0,5 m tutkittavaa 50 pilarimetriä kohti.

6.4 Lujuus- ja kokoonpuristuvuusominaisuudet

Suunnitelmissa esitetään vaadittavat lujuudet. Lujuusvaatimukset voi olla esitetty myös useampana eri aikana. Lisäksi lujuusvaatimukset voivat olla syvyys-suunnassa erilaiset esim. pilarin yläosa ja alaosa eroteltuina. Pilarilujuudelle voidaan esittää vaatimukset leikkauslujuutena, puristuslujuutena tai myötölujuutena. Yleisimmin käytetään pilarin leikkauslujuutta.

Pilarin leikkauslujuus määritetään useimmiten pilari-kairan avulla siten, että tulosten kalibrointia varten tehdään tietty määrä pilarisiipikairauksia. Näitä tietoja täydentää pilarista otetuista näytteistä mää-

ritetyt leikkauslujuuden arvot. Tehtävien tutkimusten määrät riippuvat kohteesta ja sen laajuudesta taulukon 5 mukaisesti.

Leikkauslujuus saadaan pilarikairauksista lähes jatkuvana. Leikkauslujuudelle asetetaan seuraavat vaatimukset kohteen vaativuudesta riippuen:

1. Vaativat kohteet

Vaativissa (luiska- ja kaivantostabiliteetti) ja pieninä ryhminä toimivien pilarien käyttökohteissa leikkauslujuuksien alituskriteerit määritetään tapauskohtaisesti. Näissä tapauksissa yleensä yksittäinen pilari saa alittaa paikallisesti tavoiteleikkauslujuuden enintään -30%.

2. Keskin kertaiset ja helpot kohteet

Kohteissa, missä pilariryhmä on suunniteltu etupäässä painumien pienentämiseksi (putkijohdot, tiepenkereet yms.), voidaan tutkittavia pilareita kohti sallia alituskohtia enintään seuraavasti:

-yksittäisessä pilarissa saa olla katkoksia (leikkauslujuus <30% vaaditusta lujuudesta) enintään 10% pilaripituudesta. Pilareita, joissa on katkoksia, saa olla enintään 5% pilareista

-5% tutkittavien pilarien yhteenlasketusta pituudesta saa olla osuuksia, joiden lujuus on 30...70 % vaaditusta lujuudesta mukaanlukien katkosten määrät tai

-10% tutkittavien pilarien yhteenlasketusta pituudesta saa olla osuuksia, joiden lujuus on 70...90 % vaaditusta lujuudesta mukaanlukien alhaisemman lujuuden (<70% vaaditusta lujuudesta) osuudet

-kun osuuden lujuus on 90...100 % vaaditusta lujuudesta, selvitetään hyväksymiskriteerit tapauskoh-

taisesti (riippuen kohteen vaativuusasteesta, mitoitushetkestä ja -lujuudesta sekä epäjatkuvuuskohdan sijainnista ja pituudesta)

Suunnitelmissa voidaan esittää vaatimus kimmomoduulille vastaavasti. Kimmomoduuli voidaan määrittää syvyyslevykuormituskokeena in situ tai vaihtoehtoisesti pilarinäytteistä. Kimmomoduulin arvo mitataan eri syvyyksillä pistemäisesti. Pilarista tehtyjen mittausten keskiarvon tulee olla vaadittua arvoa suurempi, minkä lisäksi yksittäiset arvot eivät saa alittaa enempää kuin 20 % vaaditusta arvosta.

6.5 Sijoitustarkkuusvaatimukset

Sijoitustarkkuusvaatimukset vaihtelevat kohderyhmittäin, jotka tässä vaativuuden mukaan ryhmiteltynä ovat:

1. Vaativat kohteet

Tällaisia ovat mm. muutaman pilarin ryhmä erillisen rakenteen alla, kaltevat pilaroinnit tai limitettävät pilaririvit esim. kaivannoissa.

2. Kohtalaisen vaativat kohteet

Tällaisia ovat mm. linjamaiset pilaroinnit esim. putkijohtojen alla.

3. Helpot kohteet

Helpot vaatimukset ovat kohteissa, missä stabiloitavalla alueella ei tarvita merkittävää sijaintitarkkuutta. Tällaisia kohteita ovat tyypillisimmillään kentät, katu- ja tiepenkereet, blokkipilarointi yms.

Sijaintivaatimukset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Sijaintivaatimukset.

| Vaativuus- luokka | Vaativat kohteet | | Kohtalaisen vaativat kohteet | | Helpot koh- teet | |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|------------------------------------|----------------|---------------------|-----------------|
| | yksit- täinen | keski- arvo | yksit- täinen | keski- arvo | yksit- täinen | keski- arvo |
| Sijaintipointeama leikkauspinnassa (x,y) | ±50 mm | ±50 mm | ±150 mm (*) | ±100 mm (*) | ±200 mm (**) | ±150 mm (**) |
| Pilarin kaltevuus- pointeama | ±10 mm/m | ±10 mm/m | ±20 mm/m | ±20 mm/m | ±20 mm/m | ±20mm/m |
| Syvyyspointeama määrämittaisen pilarin ala- ja yläpäässä | ±100 mm | ±100 mm | ±200 mm | ±200 mm | ±200 mm | ±200 mm |

*) Pointeama pilarin teoreettisesta paikasta

**) Etäisyyspointeama viereisestä pilarista/reunapilarien etäisyys kentän reunasta

7 LAADUNVALVONNAN TOTEUTUS

7.1 Yleistä

Riittävän hyvän laadun toteutuminen edellyttää, että suunnitelmissa esitetään selkeästi luvussa 4 esitetyt seikat. Näin meneteltäessä vältytään monilta ikäviltä yllätyksiltä toteutusvaiheessa. Tämä tarkoittaa mm. sitä, että kohteen eri tavalla lujittuvien savikerosten lujittuminen suunnitellulla sideainelaadulla ja -määrällä tunnetaan ajan mukana riittävän tarkasti. Tämä edellyttää suunnitteluvaiheessa stabiloituvuustutkimuksia laboratoriossa tai koepilarointia tai muuta tietoa maalajin stabiloituvuudesta.

Laadunvalvonta- ja varmistus tapahtuu kolmessa vaiheessa:

- I Ennen työn aloitusta tehtävät toimenpiteet
- II Työn aikana suoritettava laadunvalvonta
- III Työn jälkeen tehtävä laadunvarmistus

Laadunvalvonnassa tarvitaan myös hyvin toimivaa yhteistyötä rakennuttajan, suunnittelijan ja urakoitsijan välillä. Tämä edellyttää eri osapuolten tehtävien tiedostamista sekä tehokasta tiedonkulkua.

7.2 Ennen työn aloitusta tehtävät toimenpiteet

Ennen työn aloitusta on suositeltavaa tehdä toimenpiteet, jotka on jaettu kolmeen vaiheeseen: suunnitelma-asiakirjojen tarkistus, työsuunnitelman teko ja aloituskokous.

7.2.1 Suunnitelma-asiakirjojen tarkistus

Suunnitelma-asiakirjoista poimitaan työn laatuun ja laadunvalvontaan liittyvät kohdat:

- käytettävän sideaineen laatu ja sen tutkiminen
- sideainemäärät ja määrävaihtelut
- vaatimukset pilarilujuuksista eri lujittumisaikoina sekä sallitut lujuusvaihtelut
- pilarikoko ja sijainnit sekä sijoitustoleranssit
- pilarien ala- ja yläpään tasot sekä niiden toleranssit
- pilarikaltevuudet ja sallitut kaltevuusvaihtelut
- suunnitelmassa esitetyt vaatimukset työn toteutuksesta ja valvontatoimenpiteistä
- viittaukset yleisiin ohjeisiin
- muut suunnitelmassa esitetyt laadunvalvonta-asiat
- laadunvarmistustutkimukset ja niiden suoritusajankohdat

Mikäli suunnitelma on joltain osin puutteellinen on lisätiedot syytä selvittää ennen työn aloitusta.

7.2.2 Työsuunnitelman teko

Työsuunnitelmaan liittyy laadunvalvonnan kannalta tärkeitä tekijöitä, joita ovat:

- mittaussuunnitelma: pilarien sijainnin ja kaltevuuden mittaukset sekä tarkistusmittaukset
- pilarityöpöytäkirjat ja niiden ylläpito

7.2.3 Aloituskokous

Ennen työn aloitusta tulisi pitää aloituskokous, missä käsitellään mm:

- suunnitelmassa esitetyt laatuvaatimukset ja niiden valvontatoimenpiteet
- rakennuttajan, suunnittelijan ja urakoitsijan tehtävät laadunvarmistuksessa
- stabilointikaluston tarkistaminen (mikäli mahdollista)

Jos esim. kärjen muoto poikkeaa kuvan 2 (s.4) mukaisesta, on urakoitsijan tehtävä selvitys kärjen sekoitustehosta ennen kärjen käyttöönottoa.

7.3 Työn aikana suoritettava laadunvalvonta

7.3.1 Sideaine

Sideaineesta valvotaan työn aikana seuraavia ominaisuuksia:

- sideainelaadun oikeellisuus laboratorioanalyysien perusteella
- sideaineseoksen tutkiminen sekoituskärjen kautta puhalletusta näytteestä. Näytteistä analysoidaan laboratoriossa seossuhde
- sideainemäärää seurataan stabilointikoneen tulostusnauhoista. Tarvittaessa voidaan tehdä koesyöttöjä määrän tarkistamiseksi

Sideaineen tai sideaineseoksen laadun määrittämissä varten voidaan ennen töiden aloitusta ja työn aikana toimituseristä tehdä näytteenottoja. Stabilointikoneen säiliöiden täyttövaiheiden välillä ei erillistä sideainetutkimusta tarvitse tehdä, sillä eri sideainesten erottumista määrätystä (yleensä 50%+50% -suhteesta) voidaan pitää niin vähäisenä, että sillä ei pilarilaadun lopputulokseen ole merkitystä /14/.

Sideainemäärittämissä varten otettavat näytteet puhalletaan näytteenottopussiin koneen sekoituskärjen kautta.

Näytteenottopussin on oltava niin iso, että se riittää sekoituskärjen ympärille (mitat: 700 x 1000 mm²). Pussimateriaalin tulee olla ilman läpäisevää ja 300 kPa paineen kestävää esim. nylon- tai huopakangasta.

Pussi pujotetaan puhdistetun kärjen ympärille ja pussin suu suljetaan narulla puomin ympärille. Pussiin puhalletaan mahdollisimman pienellä paineella noin 2 kg näytettä. Tämän jälkeen puhallus lopetetaan ja pussi irrotetaan kärjen ympäriltä. Näytepussista näytteet laitetaan muovipusseihin, jotka suljetaan ilmatiiviisti ja lähetetään testauslaboratorioon tutkittavaksi.

Tehtyjen tutkimusten mukaan sekoitusmenetelmä (tehdassekoitus/paikalla valmistettu seos) ei vaikuta seoksen laatuun /14/.

7.3.2 Sideaineen määrä

Sideaineen syöttöä seurataan jatkuvasti pilareiden teon aikana. Stabilointikoneen tietokoneelta saadaan sideaineen määrä numeerisena tulostuksena esim. 1 m välein ja tarvittaessa jatkuvana. Vaakalukemien tarkkuuden on oltava vähintään 1,0 kg/m. Sideainemenekin toleranssit ilmoitetaan suunnitelmissa.

Sideaineen määrän tarkkailu perustuu koneen vaakalukemien jatkuvaan seurantaan ja rekisteröintiin sekä vaa'an loppulukemien vertailuun. Liitteessä 1/1 ja 2/1 on esitetty eri tulostusnauhatyyppejä, joista nauha 1 b on tulostusmuodoltaan tarkin. Siinä määrän rekisteröinti tapahtuu numeerisesti 1 m välein (tarkkuus: 0,1 kg/m). Koska rekisteröinnin on oltava jatkuva, ei liitteen 1/1 kuvan 1 a tulostus, missä sideainemäärän laskenta perustuu pilarin teon alussa ja lopussa saatuihin punnituksiin, täytä tätä vaatimusta. Näin ollen valvojan ei pidä hyväksyä tällaista tulostusta.

Sideaineen määrän tarkkailun minimivaatimuksena on tämän vuoksi liitteen 2/1 kuvan 1 b mukainen tulostustyyppi, missä lukematarkkuus on vähintään $\pm 1,0$

kg/m. Suunnittelija voi kohteesta riippuen vaatia tarkempaa tulostusta (esim. määrät 0,2 m välein).

7.3.3 Pilareiden sijoituskaavio ja asennustoleranssit

Pilaristabilointityön aikana tulee seurata:

- pilareiden sijaintia ja kaltevuutta
- pilareiden ylä- ja alapäiden tasoja

Pilareiden sijainnin ja kaltevuuden maksimipoikkeamat esitetään työselityksessä. Pilareiden sijaintitarkkuus kohteen vaatimustason mukaan on esitetty luvussa 6 (taulukko 4).

Suunnittelijalta tulee stabilointikentän koordinaattitiedot, joiden mukaan urakoitsija merkitsee pilareiden paikat maastoon. On tärkeää, että urakoitsijalla on tarvittavat ja oikeat tiedot, jotta pilarit tulevat oikeille paikoilleen. Tutkittaviksi määrätyt pilarit tulee merkitä heti niiden tekemisen jälkeen, jotta pilarit ovat tutkimusvaiheessa helposti löydettävissä. Tämä on erityisen tärkeää varsinkin koestettavien pilareiden kohdalla.

Puomin kaltevuuden on oltava suunnitellussa kaltevuudessa. Puomin kaltevuuden tarkistus ja oikeaan asentoon korjaaminen perustuu joko ohjaamossa olevien mittaritietojen tarkkailuun tai silmämääräiseen seurantaan. Niissä koneissa, joissa on kyseiset kaltevuusmittarit, tulee kuljettajan huolehtia puomin asennon korjaamisesta. Mittareiden puuttuessa tulee apumiehen avustaa puomin saamiseksi oikeaan asentoon.

Pilareiden ylä- ja alapään tasojen tulee näkyä tulosnauhoissa. Kalkki- ja kalkkisementtipilareilla sideaineen sekoitus on lopetettava turvallisella etäisyydellä maanpinnan alapuolella, jotta tarpeeton sideaineen pääsy ilmaan estetään.

7.3.4 Pyöritystyö

Kärjen pyöritystyö tehdään suunnitelmien mukaisesti. Pyöritys- ja nousunopeuden tarkistus voidaan suorittaa puomista mittaamalla seuraavasti: koneella tehdään pilaria asetusten mukaisesti. Valvoja asettaa tikun vaakasuorassa asennossa pyörivään puomiin niin, että puomin varteen jää spiraalimainen vako. Kahden vierekkäisen vaon pystysuoran etäisyyden mittaaminen antaa puomin nousunopeuden (mm/r). Saatua tulosta voidaan verrata suunnitelmien mukaiseen arvoon ja korjata tarpeen vaatiessa.

7.3.5 Syöttöhäiriöt

Ohjaamossa olevasta monitorista ja tulostusnauhoissa näkyvät mahdolliset syöttöhäiriöt, jotka kuljettajan on korjattava tekemällä uusi pilari.

7.3.6 Työsuojelun kannalta täytettävät työturvallisuusominaisuudet työn aikana

Syvästabiloinnissa käytettävä kalkki ja sementti ovat molemmat emäksisiä aineita, jotka ärsyttävät ihoa ja limakalvoja. Kalkki voi lisäksi aiheuttaa vaarallisiakin palovammoja limakalvoilla sammumisreaktion vaikutuksesta. Ne ohjaamot, joita ei ole suunniteltu ylipaineistetuiksi, pitää kuljettajilla olla käytössään silmä- ja hengityssuojaimet sekä onnettomuuden varalle silmähuuhteluvälineet. Nämä suojaimet ja välineet olisi hyvä olla kaikissa koneissa.

Ympäristöä tulee informoida stabilointityöstä ja ympäristön suojauksesta on huolehdittava etenkin kaupunkialueella.

7.4 Lopputuloksen valvonta

Lopputuloksen valvonta painottuu tutkimuksiin in situ ja näytteistä tehtyihin laboratoriotutkimuksiin. Tulostuksena saadaan tietoja pilareiden lujuudesta, kokoonpuristuvuusominaisuuksista ja sideainemääristä pilarin eri osissa sekä pilarinostojen yhteydessä tehtyjä silmämääräisiä havaintoja pilarin tasalaatuisuudesta ja eheydestä.

Saatuja tuloksia verrataan suunnitelman mitoitusparametreihin ja tarkistetaan, onko pilari vaatimusten mukainen eli pysyvätkö alitukset sallituissa rajoissa (luku 6). Ongelmatilanteissa selvitetään, mikä on aiheuttanut poikkeamia suunnitteluarvoihin ja miten tilanne olisi korjattavissa.

Tehtäessä mittauksia useampina ajankohtina tulee mittaukset tehdä aina pilarista, jota ei aikaisemmin ole tutkittu. Tämän vuoksi tutkittavia pilareita on varattava tarpeellinen määrä.

Taulukossa 5 on esitetty suositus tutkimusmenetelmistä ja mittausten lukumäärästä kohteesta riippuen. Jos tutkimusvaiheessa ilmenee ongelmia: esim. epävarmuus siitä, onko pilarin alapää huonosti lujittunut vai kaira ohjautunut ulos pilarista, tutkitaan viereinen pilari samalla menetelmällä.

- jos tulos on yhtä epävarma kuin edellisessä pilarissa, nostetaan toinen pilareista ylös varmistusta varten
- jos jälkimmäisessä pilarissa saadaan tasalaatuinen tulos koko pilarin matkalta, voidaan tämä tulos joko hyväksyä tai tarpeen vaatiessa nostetaan epävarma pilari ylös. Myös pieniläpimittaisten näytteiden otto on yksi keino tutkia pilarin tasalaatuisuutta

Taulukko 5. Tutkimusmenetelmät ja tutkimusten vähimmäismäärät. Yksikkönä kpl/pilareiden lukumäärä tai %:na pilareiden määrästä.

| | Pilari- kaira /puris- tinkai- ra | Pila- risii- pikai- ra | Ruuvi- levy- kuor- mitus | Kokopi- larinäyt- teet/ Näyt- teenotto pilarista |
|---------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Kohteen laa- juus | | | | |
| -laaja (yli 40 000 m) | 1 % | > 8 kpl (**) | > 3 kpl | > 2 kpl |
| -norm. (5000-40 000 m) | 1 % | 3...8 kpl (**) | 2...3 kpl | tarvittaessa (*) |
| -pieni (alle 5000 m) | (min 5 kpl) | 2...4 kpl (**) | tarvittaes- sa | tarvittaessa (*) |
| Kohteen toi- mintatapa | | | | |
| -kantavuus määräävä | vrt. kohteen laajuus | vrt. koh- teen laa- juus | vrt. koh- teen laa- juus | vrt. kohteen laajuus |
| -vakavuus määräävä | > 2 % | > 3 kpl (**) | > 2 kpl | vrt. kohteen laajuus |

*) Kokopilarinostot tarpeellisia, jos kairauksilla ei laatua ole saatu selvitettyä

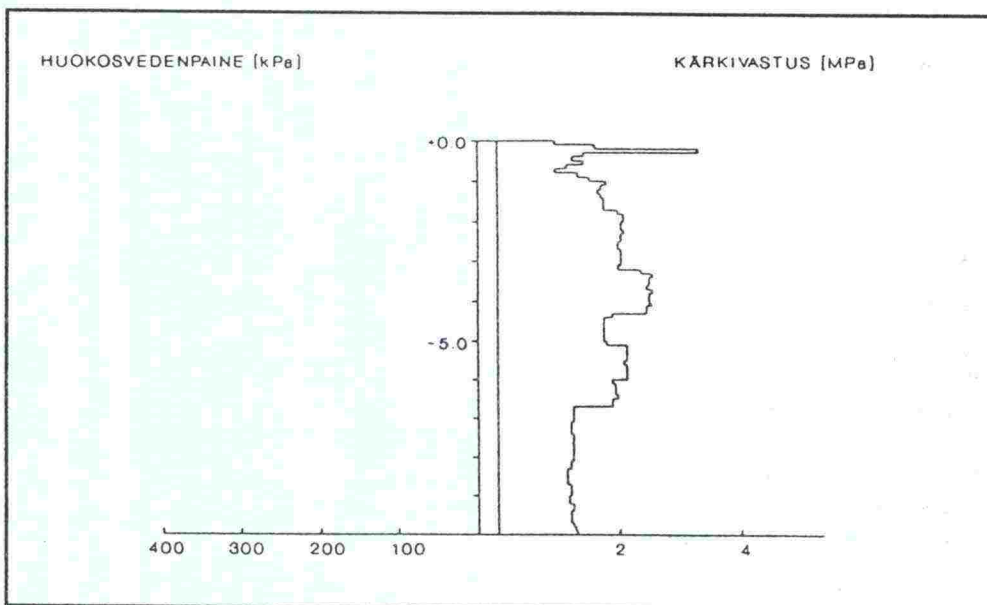
**) Mittaukset metrin (1 m) välein

Tutkimusmäärät on jaoteltu kohteen laajuuden ja toimintatavan mukaan. Tutkimusmäärien vähimmäissuosituksen voidaan pitää 10 pilarikairausta ja 3 siipikairausta.

8 ESIMERKKEJÄ PILARITUTKIMUSTEN TULKINNASTA

8.1 Pilari- ja puristinkairaukset

Kuvassa 9 on esitetty puristinkairauksella pilarista saatu kärkivastustulostus.



Kuva 9. Puristinkairaustulos.

Koska mittauksilla halutaan selvittää ensisijaisesti pilarin leikkauslujuus, joudutaan kairaustulos muuttamaan kaavan 5.1 mukaisesti.

Kentältä on tehty puristinkairauksia yhteensä 5 kpl ja pilarisiipikairauksia 3 kpl (mittaukset 1 m välein). Näiden tulosten perusteella on saatu kaavaa 5.1 apuna käyttäen ratkaistua N_c :n arvoksi 12. Tätä arvoa käytetään laskettaessa saman kentän muiden pilarien leikkauslujuuksia vastaavista puristinkairaustuloksista.

Esim. Syvyys -3 m

$p = 2 \text{ MPa}$

$\sigma_o' = 6 \text{ kN/m}^3 \times 3 \text{ m} = 18 \text{ kN/m}^2$

$N_c = 12$

→ leikkauslujuus = 165 kPa

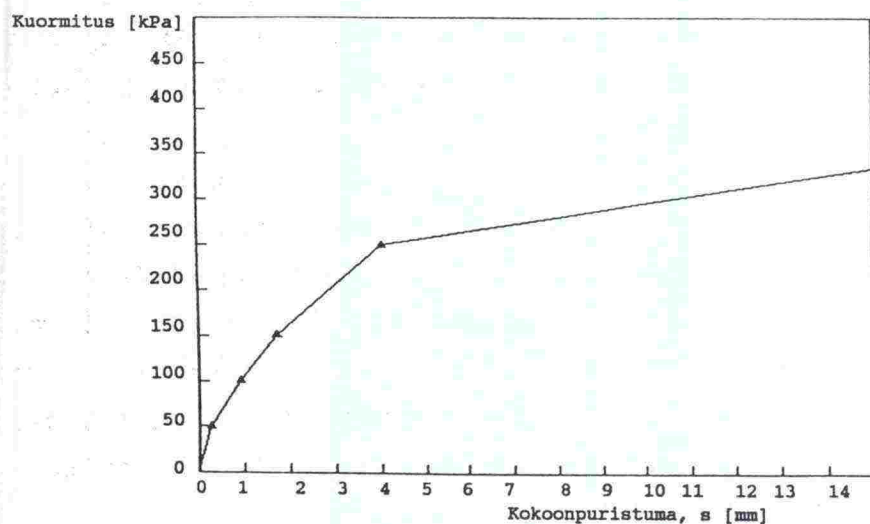
8.2 Ruuvilevykuormituskoe

Taulukkoon 6 on listattu maastossa mitatut ruuvilevyn painumat kuormituksen ja ajan suhteen. Pilareista riippuen tarvitaan usein useampia kuormitusportaita ja pidempää kuormitusaikaa.

Taulukko 6. Mitatut painumat [mm].

| aika kuormitus | Alku | 30s | 1min | 2min | 4min | yht. s [mm] |
|--------------------|-------|------|------|------|------|----------------|
| ilman kuormaa s | 40,63 | | | | | |
| 50 kPa Δs | — | 0,01 | 0,09 | 0,12 | | 0,22 |
| 100 kPa Δs | 0,36 | 0,18 | 0,09 | 0,05 | 0,04 | 0,94 |
| 150 kPa Δs | 0,42 | 0,24 | 0,11 | 0,07 | 0,03 | 1,81 |
| 250 kPa Δs | 1,74 | 0,33 | 0,09 | 0,02 | 0,02 | 4,01 |
| 350 kPa Δs | 4,03 | 3,22 | 2,78 | 0,68 | 0,60 | 15,32 |

Kuvaajaan 1 on piirretty taulukon mukaiset painumat ajan ja kuormituksen suhteen.



Kuvaaja 1. Syvyyslevykuormituskokeen tulokset.

Kuvaajasta 1 nähdään, että pilari alkaa myötää jännityksen ollessa 250 kPa ($s=4$ mm). Pilarin myötöjännitykseksi saadaan $\sigma_r = 250$ kPa. Pilarin kimmomoduuli E_p saadaan kaavalla 5.2. Tästä saadaan $E_p = 5,1$ MPa.

8.3 Pilarista otetuista näytteistä tehtävät tutkimukset

Taulukossa 7 on esitetty kalkki-sementtipilarista tehtyjä laboratoriotutkimustuloksia. Näytteistä on selvitetty leikkauslujuus, kimmomoduuli ja materiaalin sideainepitoisuus. Luonnontilaisesta maasta on otettu näytteitä, joista on selvitetty maan vesipitoisuus ja tilavuuspaino sekä sideainemäärityksissä tarvittava saven sisältämä kalkin määrä. Näiden em. tietojen perusteella on voitu määrittää pilariin mennyt sideainemäärä metriä kohti.

Taulukko 7. Pilarinäytteistä suoritettut tutkimukset.

| NÄYTE | w [%] | γ [kN/m ³] | τ_p [kPa] ^p | E_p [kPa] ^p | C ₂ [%] | Q [kg/m] |
|-------|----------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------|
| K1 | 210 | 15 | 113 | 7550 | 5,08 | 12 |
| K2 | " | " | 213 | 8500 | 11,25 | 27 |
| K3 | " | " | 134 | 5170 | 14,55 | 35 |
| K4 | " | " | 217 | 19730 | 10,98 | 27 |
| K5 | " | " | 212 | 16790 | 10,83 | 26 |
| K6 | " | " | 145 | 9660 | 13,88 | 34 |
| K7 | 170 | " | 168 | 6710 | 17,90 | 50 |
| K8 | " | " | 180 | 10010 | 17,15 | 48 |
| K9 | " | " | 204 | 15690 | 16,41 | 46 |
| K10 | " | " | 205 | 15760 | 10,34 | 29 |
| K11 | 70 | " | 235 | 14710 | 14,30 | 63 |
| K12 | " | " | 143 | 17880 | 15,45 | 69 |
| K13 | " | " | 191 | 19140 | 11,47 | 51 |
| K14 | 100 | " | 226 | 25110 | 14,12 | 53 |

w = saven vesipitoisuus

γ = saven tilavuuspaino

τ_p = leikkauslujuus

E_p = kimmomoduuli

C₂ = kalkkipitoisuus maan kuivapainosta

Q = sideainemäärä ($Q = \pi r^2 \times \gamma_d \times C_2$)

r = pilarin säde = 400 mm

9 LÄHDELUETTELO

- /1/ Boman, Broms, Paus, Söderlind; The Lime Column Method. Swedish Council for Building Research 1980.
- /2/ Broms, Boman; Stabilization of Soil with Lime Columns. Design handbook, second edition, Royal Institute of Technology, Stockholm 1978.
- /3/ British Standards BS 1924 Part 2.
- /4/ Dry Jet Mixing Method. Japanilaiset syvästabilointimenetelmät, RIL:n koulutuspäivät 20.-22.11.1990.
- /5/ Geomekaniikka I RIL 157-I.
- /6/ Halkola Hannu, Syvästabiloidun laadun ja lujuuden valvontamenetelmät. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, geotekninen osasto. Tiedote 30. 1982.
- /7/ Halkola Hannu, Syvästabilointityön laadunvalvonta ja seurantatutkimukset. RIL K128-1990.
- /8/ Kalkkipilariohjeet KPO-86.
- /9/ Korpi Juha, in situ -kuormituskoe painumien määrittämiseksi. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, Geoteknisen osaston tiedote 42.
- /10/ Kujala Kauko, Kipsin käyttö syvästabiloinnissa. Lisensiaattityö 1982 OY, rakentamistekniikan osasto. 157 s.
- /11/ Kujala Kauko, Sideaineet ja niiden reaktiot maan kanssa. RIL K128-1990.

- /12/ Leppänen Mikko, Syvästabiloinnin suunnittelu. RIL K128-1990.
- /13/ Palko, Merilä, Heino; Maankuivatuksen suunnittelu happamilla sulfaattimailla. Vesi- ja Ympäristöhallituksen julkaisu 21.
- /14/ Parkkinen Elina, Syvästabiloinnin laadunvalvonta. Diplomityö 1991 TTKK, rakennustekniikan osasto. 77 s.
- /15/ Pohjarakenteet RIL 166.
- /16/ Syvästabilointiohjeet STO-90, luonnos.
- /17/ TVO, tienrakennustöiden valvontaohje. Pohjanvahvistustyöt. TVH 1988.

LIITE 1/1

AJANJAKSO:

1989/07/03 KLO 14:59:33

1989/07/04 KLO 08:14:02

PILARETTA 29.0 KPL

YHTENSA 323.6 M

KALKKIA 6438.0 KG

KESKIMAARIN 19.9 KG/M

PI- SY- PI- KESKI- VAA- KKL-

LARI VYYS TUUS ARVO KA LO

| | | | | | |
|----|-------|-------|-------|------|-------|
| 1 | 11.36 | 11.07 | 20.06 | 6462 | 06:35 |
| 2 | 11.08 | 10.91 | 19.43 | 6244 | 06:39 |
| 3 | 11.75 | 11.60 | 19.31 | 6010 | 06:42 |
| 4 | 11.53 | 11.21 | 20.53 | 5774 | 06:46 |
| 5 | 11.65 | 11.34 | 20.27 | 5536 | 06:53 |
| 6 | 11.46 | 11.19 | 21.46 | 5290 | 06:56 |
| 7 | 11.66 | 11.37 | 20.05 | 5054 | 06:59 |
| 8 | 11.47 | 11.19 | 20.20 | 4822 | 07:03 |
| 9 | 11.63 | 11.35 | 20.44 | 4580 | 07:06 |
| 10 | 11.46 | 11.23 | 20.48 | 4346 | 07:10 |
| 11 | 11.73 | 11.44 | 19.59 | 4118 | 07:13 |
| 12 | 11.60 | 11.33 | 19.59 | 3888 | 07:16 |
| 13 | 11.30 | 11.07 | 19.52 | 3666 | 07:20 |
| 14 | 11.31 | 11.05 | 19.35 | 3446 | 07:23 |
| 15 | 11.27 | 11.06 | 19.54 | 3220 | 07:26 |
| 16 | 11.41 | 11.16 | 19.71 | 2992 | 07:29 |
| 17 | 10.86 | 10.65 | 19.91 | 2774 | 07:32 |
| 18 | 11.23 | 11.08 | 19.32 | 2554 | 07:35 |
| 19 | 11.17 | 10.94 | 19.93 | 2328 | 07:39 |
| 20 | 11.34 | 11.08 | 19.86 | 2106 | 07:42 |
| 21 | 11.47 | 11.34 | 19.93 | 1872 | 07:45 |
| 22 | 11.55 | 11.28 | 20.20 | 1636 | 07:48 |
| 23 | 11.52 | 11.23 | 19.77 | 1408 | 07:52 |
| 24 | 11.64 | 11.38 | 19.85 | 1176 | 07:55 |
| 25 | 11.12 | 10.86 | 19.71 | 956 | 07:58 |
| 26 | 11.35 | 11.08 | 20.03 | 726 | 08:01 |
| 27 | 11.55 | 11.24 | 19.75 | 500 | 08:05 |
| 28 | 11.57 | 11.32 | 19.79 | 268 | 08:09 |
| 29 | 11.44 | 10.51 | 19.42 | 56 | 08:12 |

Kuva 1. a) Numeerinen tulostus, jossa yhteen pilariin kulunut sideainemäärä on annettu keskiarvona.

LIITE 2/1

```
*****
PILARI :      205
11.09.1990   klo 10:22

SYVYYS (cm)   MÄÄRÄ (x 0.1kg)
838-738       437
738-638       398
638-538       356
538-438       351
438-338       354
338-238       358
238-138       342
138-51        68

SYVYYS : 838 cm
PITUUS : 787 cm
KALKKI : 2611 *0.1kg
KESKIM : 331 *0.1kg/m
ASETUS : 340 *0.1kg/m
NOUSU : 15 mm/r
*****
```

Kuva 1. b) Numeerinen tulostus sideainemenekistä koko pilarin matkalta.

```
-----
PILARI 1

1990/02/05   KLO 09:12:42
VAAKA 1991 KG

0   100   200   300KG
!   !   !   !
! I   !   !   8.17
! I   !   !   7.17
! I   !   !   6.17
! I   !   !   5.17
! I   !   !   4.17
! I   !   !   3.17
! I   !   !   2.17
! I   !   !   1.17
! I   !   !   0.24

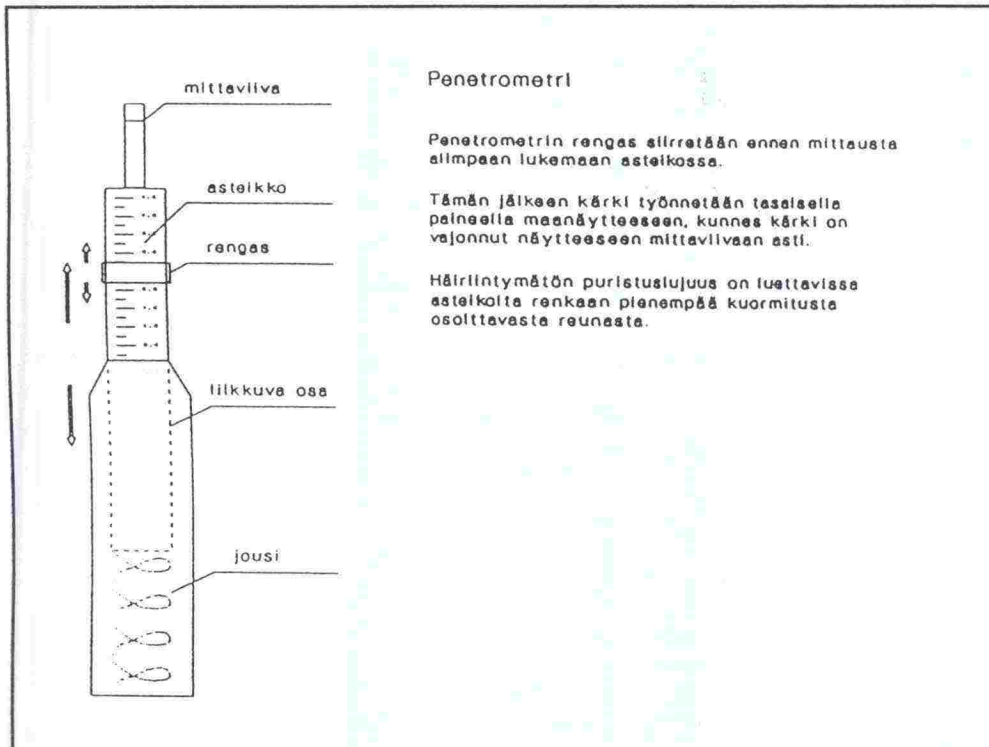
SYVYYS      8.17 M
PITUUS      7.84 M
KALKKI      136 KG
KESKIM      17.35 KG/M
-----
```

Kuva 1. c) Graafinen tulostus sideainemenekistä koko pilarin matkalta.

LIITE 2

PENETROMETRI

Penetrometri on kuvan 1 mukainen laite, jonka avulla saadaan määritettyä materiaalin puristuslujuus q_u .

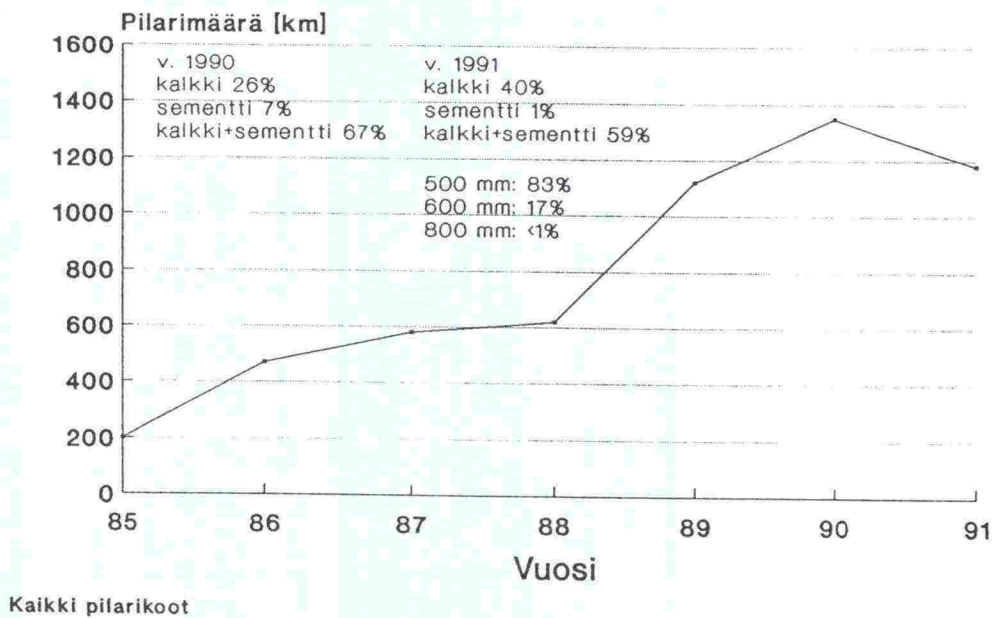


Kuva 1. Penetrometri.

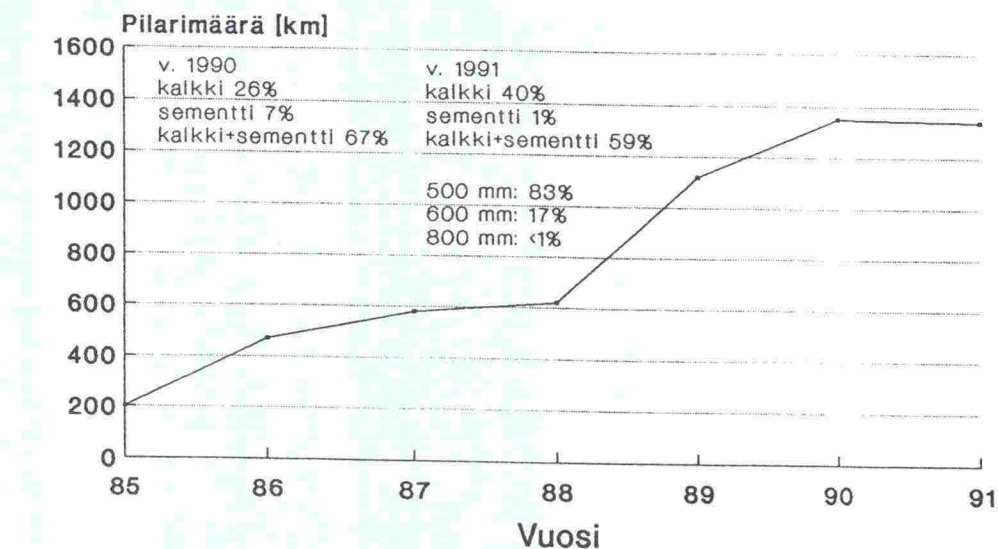
Penetrometrillä saadaan nopeasti arvioitua pilarin lujuutta pilarin eri osissa. Saatuja lukemia ei voida käyttää mitoitusparametreinä, vaan pH-määritysten tavoin samasta pilarista saatuja tuloksia voidaan vertailla keskenään ja siten arvioida pilarin homogeenisuutta.

LIITE 3

SYVÄSTABILOINTI STABILOINTIMÄÄRÄT SUOMESSA



STABILOINTIMÄÄRÄT SUOMESSA



Pilarimäärät on v. 1991 tuloksissa laskettu vastaamaan halkaisijaltaan 500 mm pilarimääriä.

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 20/1992 1980-luvulla toteutettuja taajamateitä; taajamakuva- ja toimivuustarkastelu. TIEL 3200076
- 21/1992 The Effects of Motorways on the National Economy. TIEL 3200077E
- 22/1992 Quality Requirements of Prefabricated Strip Drains; Quality Control and Test Methods. TIEL 3200057E
- 23/1992 Sairaalahoidon vaatimat loukkaantumiset liikennealueilla Suomessa vuonna 1989. TIEL 3200078
- 24/1992 Liikenne ja maankäyttö, esiselvitys. TIEL 3200079
- 25/1992 Liikenteen profiili. TIEL 3200080
- 26/1992 Tiehankkeiden yhteiskuntataloudellisen vaikutukset. TIEL 3200081
- 27/1992 Yleisten teiden liikennemelu, otantaselvitys, TIEL 3200082
- 28/1992 Tien suuntauksen suunnittelu. TIEL 3200083
- 29/1992 Onnettomuudet pääteiden tasoliittymissä. TIEL 3200084
- 30/1992 Jätäkänkynttilä; The Lumberjack's Candle. TIEL 3200085
- 31/1992 Pohjaveden maatiivistesuojan tiivistäminen. TIEL 3200086
- 32/1992 Talvikunnossapidon sääindeksi. Tuotannon kehittämispalvelut
- 33/1992 Tieverkon kehittämishankkeiden hallinnointi: Projektioorganisaatiot, loppuraportti. TIEL 3200087
- 34/1992 Tienvarsi-alueiden kasvittamisen ja hoidon kehittäminen luonnonmukaisempaan suuntaan. TIEL 3200088
- 35/1992 Päälystetyn tien kuntoennusteet. TIEL 3200089
- 36/1992 Päälystettyjen teiden pintakunnon luokittelu. TIEL 3200090
- 37/1992 Satamiin johtavien erikoiskuljetusreittien kehittäminen
- 38/1992 CMA:n ympäristövaikutuksia ja käyttökokemuksia; kirjallisuustutkimus. TIEL 3200092
- 39/1992 Henkilöauton verotuksen muuttamisen vaikutuksia liikenteeseen. TIEL 3200093
- 40/1992 Hirvieläinonnettomuudet yleisillä teillä 1991. TIEL 3201921-92
- 41/1992 Liikenteen ja muiden toimintojen turvallisuuden vertailu 1988-1990. TIEL 3200094
- 42/1992 Pääväylät kaupunkialueilla; tasoliittymät. TIEL 3200095
- 43/1992 Reittiohjaus Lahdentiellä, esiselvitys. TIEL 3200096
- 44/1992 Seurannan sisällyttäminen tiehankkeisiin -luonnonolot. TIEL 3200097
- 45/1992 Liikennevalojen kunnossapitotutkimus. TIEL 3200098

ISBN 951-47-6510-9
ISSN 0788-3722
TIEL 3200099